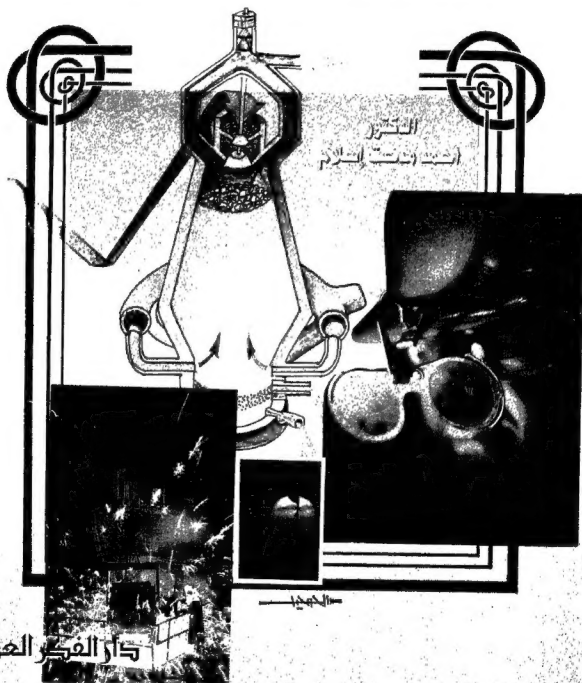


# الصناعات الكيميائية

الجزء الأول

الأحماض والقواعد، استخلاص الفلزات من خاماتها





# الصناعات الكيميائية

الأحماض والقواعد - استخلاص الفلزات من خاماتها

الأستاذ الدكتور

أحمد مدحت إسلام

أستاذ الكيمياء المتفرغ

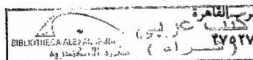
وعميد كلية العلوم الأسبق بجامعة الأزهر

١٤١٨هـ / ١٩٩٧م



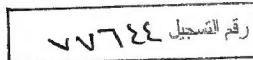
ملتزم الطبع والنشر

دار الفكر العربي مكتبة الاسكندرية



٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥



رقم التسجيل ٧٧٦٤٤

٦٦١ أحمد مدحت إسلام.

أح ص ن      الصناعات الكيميائية : الأحماض والقواعد، استخلاص  
الفلزات من خاماتها / أحمد مدحت إسلام . - القاهرة : دار  
الفكر العربي، ١٩٩٧.

١١٦ ص : إيض : ٢٤ سم .

تدمك : ٨ - ٠٩٩٥ - ١٠ - ٩٧٧.

١ - الصناعات الكيميائية . أ - العنوان .

إخراجه / أيمن رزق هيبه

## محتويات الكتاب

الموضوع	الصفحة
مقدمة .....	٧
<b>الأحماض والقواعد والأملاح</b>	
الأحماض .....	١٥
حمض الكبريتيك .....	١٥
طريقة الغرف الرصاصية .....	١٧
طريقة التماس .....	٢٠
حمض الهيدروكلوريك .....	٢٣
حمض التريك .....	٢٦
حمض الفوسفوريك .....	٢٨
الطريقة الرطبة .....	٢٩
طريقة الفرن الكهربائي .....	٣٠
المخصلات الفوسفاتية .....	٣٠
القواعد .....	٣٣
هيدروكسيد الصوديوم .....	٣٣
كربونات الصوديوم .....	٣٦
طريقة لوبلان .....	٣٧
طريقة سولفاي .....	٤٠
النشادر .....	٤٣
المخصلات الزراعية المصنعة من النشادر .....	٤٨
نترات الأمونيوم .....	٤٨
نترات الأمونيوم .....	٤٩
اليوريا .....	٤٩

## استخلاص الفلزات من خاماتها

٥٤	تجهيز الخامات
٥٧	استخلاص الفلزات من خاماتها بالاختزال بالفحم
٥٧	الحديد
٦٤	الصلب
٧٢	القصدير
٧٤	الزئبق
٧٧	استخلاص الفلزات من خاماتها بالتحميص في الهواء
٧٧	النحاس
٨٤	الرصاص
٨٩	استخلاص الفلزات من خاماتها بالتحليل الكهربائي
٨٩	الألومنيوم
٩٣	المغنسيوم
٩٧	استخلاص الفلزات من خاماتها بطريقة الإنغام
٩٧	الذهب
٩٨	طريقة الغسيل
٩٨	طريقة الإنغام
٩٩	طريقة السيانيد
١٠٠	طريقة الكلورة
١٠٠	تنقية الذهب
١٠١	الذهب الغروي
١٠٥	السياتك
١٠٧	سياتك النحاس
١١٠	سياتك الألومنيوم
١١٠	سياتك النيكل

١١١	سبائك الرصاص
١١١	سبائك القصدير
١١٢	سبائك البرموت
١١٣	سبائك الفضة
١١٣	سبائك الذهب
١١٣	سبائك الحديد
١١٤	صلب المتجنيز
١١٤	صلب النيكل
١١٥	صلب السليكون
١١٥	صلب الكروم
١١٥	صلب القطع
١١٦	صلب الكروم والكوبالت





## مقدمة

يعتقد الناس أن الصناعات الكيميائية هي الصناعات التي تنتج المواد الكيميائية فقط، ولكنها في حقيقة الأمر تعنى أكثر من ذلك، فالصناعات الكيميائية تتضمن عادة تحويل بعض المركبات الكيميائية إلى مركبات أخرى متنوعة، وإلى سلع ومنتجات متباينة، ويصعب جدا أن نجد إحدى الصناعات تخلو من إحدى طرق الكيمياء وأساليبها.

وأغلب الصناعات الكيميائية الأساسية التي تتضمن تحضير مواد رئيسية مثل الأحماض والقواعد وأملاحها، غير معروفة لعامة الناس؛ وذلك لأن الناس لا يستخدمون هذه المواد مباشرة في حياتهم اليومية.

والأمثلة على ذلك كثيرة ومتعددة، فحمض الكبريتيك مثلا، وهو مادة أساسية في مجال الصناعات الكيميائية لا يستعمل مباشرة في حياتنا اليومية، ولكنه يدخل في كثير من العمليات الصناعية الأخرى مثل صناعة المخصبات الزراعية والمبيدات وصناعة البترول وغيرها.

كذلك نترات الأمونيوم مثلا، ليس لها استعمال يومي بين الناس، ولكنها ذات أهمية خاصة في صناعة المفرقات، والمخصبات، كما أنها تستخدم مثلا في تحضير أكسيد التترو المستخدم في طب الأسنان.

كذلك فإن الإيثيلين وكلوريد الفايثيل يعتبر كل منهما من المواد الهامة في الصناعات الكيميائية، وذلك لأنها تصل إلى المستهلك في صور أخرى متعددة، ومواد لا حصر لها، مثل مواد التنظيف الجاف، ولدائن البولي إيثيلين وبولي كلوريد الفايثيل وبعض الألياف الصناعية وبعض المواد الأخرى المشابهة لها.

وعلى الرغم من أن ملح الطعام والسكر مواد كيميائية أيضا، إلا أن تحضير هذه المواد لا يعد من صلب طرق التصنيع المستخدمة فى الصناعات الكيميائية، فالملح يستخرج عادة من مياه البحار بطرق فيزيائية مثل التركيز أو التبخير، أو يستخرج من مناجم خاصة فى باطن الأرض.

كذلك يعد السكر أحد المنتجات الزراعية، وهو يحضر من قصب السكر أو من البنجر بالعصير والتركيز ثم البلورة.

وهكذا يمكن القول بأن الصناعات الكيميائية تستخدم مواد كيميائية لإنتاج مواد كيميائية أخرى متعددة الأصناف والأغراض.

ولا يقتصر الأمر على ذلك فقط، فالكيمياء تلعب دورا هاما ورئيسيا فى صنع كثير من المنتجات الأخرى، فهى عامل رئيسى مثلا فى عمليات استخلاص الغازات من خاماتها، وتحضيرها للاستخدام فى مختلف الأغراض، وصنع بعض السبائك منها.

والطرق المستخدمة لهذا الغرض، مثل عمليات الصهر والتقية هى فى حقيقة الأمر عمليات كيميائية تعتمد أساسياتها على نوع خاص من التفاعلات الكيميائية. كذلك تستخدم طرق الكيمياء وأساليبها فى صناعة اللدائن والالياف الصناعية، وهى تتضمن تحويل جزيئات كيميائية صغيرة إلى جزيئات أخرى كبيرة بطرق البلورة والتكثيف وما إليها.

وإذا نظرنا إلى المواد الخام التى تحضر منها مختلف المواد الكيميائية الأخرى لوجدناها تتلخص فى بعض المواد العضوية، مثل الفحم، والبتترول، والغاز الطبيعى، أو فى بعض المواد غير العضوية مثل الجير والملح، والكبريت، وصخور الفوسفات وما شابهها.

والمواد العضوية مثل الفحم والبتترول والغاز الطبيعى تعطى عند تصنيعها مواد أخرى على درجة عالية من الأهمية مثل : الفينول والطورلوين والبنزين، والجاروليسن والكيروسين، وبعض الكحولات مثل : الكحول الإيثيلى والميثيلى، وهذه المواد تستخدم فى كثير من الصناعات الكيميائية الأخرى مثل صناعة الأصباغ واللدائن والأدوية والالياف الصناعية وأحبار الطباعة وغيرها.

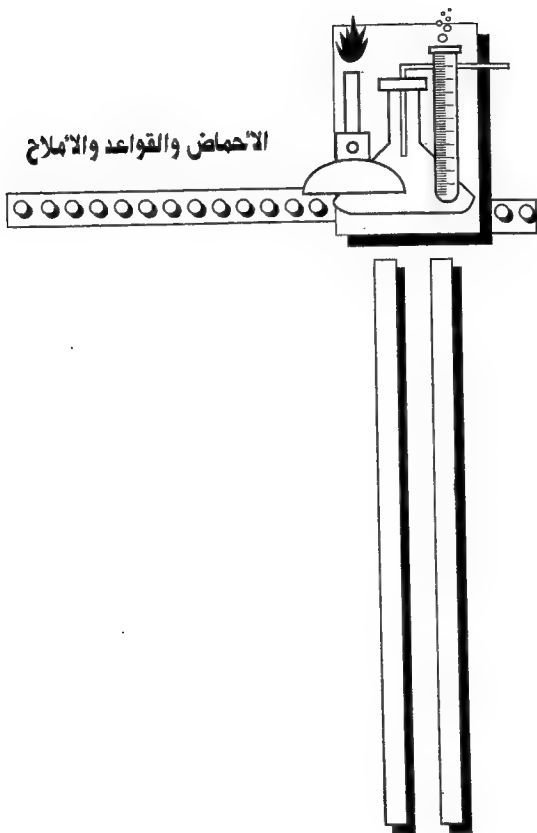
أما المواد غير العضوية السابقة فهي تستخدم فى صنع كثير من المواد الكيميائية الهامة، مثل الأحماض والقواعد التى لا تستقيم الصناعات الكيميائية فى غيابها، وأملاحها المختلفة التى تستخدم فى كثير من الصناعات مثل صناعات الورق والنسيج والمخصبات والمبيدات والزجاج والأسمت والسيراميك والجلود وغيرها.

يضاف إلى ذلك أن بعض المعادن التى تستخلص منها الفلزات المختلفة تترب من بعض هذه المواد غير العضوية.

وهكذا، نجد أن الصناعات الكيميائية تعد دعامة كبرى فى برامج التصنيع التى تضعها أغلب الدول، وعلى أكتافها تقوم أغلب أنواع الصناعات الأخرى.




الاحماض والقواعد والاملاح





## الاحماض والقواعد والأملاح

تعد الأحماض والقواعد من أهم المواد التي يستخدمها المشتغلون بالكيمياء، ويتنشر استعمالها في كثير من مجالات الصناعة وغيرها من المجالات، ولذلك فهي تعتبر من المواد الأساسية التي تعتمد عليها الصناعات الكيميائية في كل مجال من مجالاتها.

وبعض هذه الأحماض معروف لعامة الناس، ويستخدمونه في حياتهم اليومية، مثل حمض الخل  فهو يضاف على هيئة محلول مخفف يعرف باسم الخل، إلى السلطة وبعض أنواع من الطعام، ويعطيها طعما خاصا ومحبا إلى الكثيرين.

كذلك، نحن نعرف حمض الليمونيك [حمض الستريك] الموجود بعصير الليمون، والذي يستخدم بكثرة في صنع أنواع من المشروبات والحلويات، كما نعرف حمض الكربونيك الناتج من إذابة غاز ثاني أكسيد الكربون في الماء المستخدم في صنع أنواع مختلفة من المياه الغازية، وهو الذي يعطيها ذلك الفوران الذي يحبب الناس في شربها.

وأهم الأحماض بالنسبة للصناعات الكيميائية الأساسية، هي تلك الأحماض التي لا نستعملها عادة في حياتنا اليومية، وهي تلك الأحماض الثلاثة المعروفة باسم الأحماض المعدنية، وهي حمض الكبريتيك، وحمض الستريك، وحمض الهيدروكلوريك.

ويمكن أن يضاف إلى هذه الأحماض حمض رابع هو حمض الفوسفوريك. وهذه الأحماض لها أهمية خاصة في كثير من العمليات الصناعية،

وتدخل في صلب كثير من الصناعات، مثل صناعة اللدائن والأصباغ، والمفرقات والمبيدات وبعض أنواع للمخصبات الزراعية، وفي عمليات تكرير البترول وتحضير المنظفات الصناعية وغيرها. وهي تلعب دورا أساسيا في كل هذه الصناعات.

ويجب ألا ننسى أن حمض الهيدروكلوريك يوجد منه قدر ما في معدة الإنسان، وهو أحد العوامل التي تساعد على هضم الطعام، كذلك يعد أحد أملاح حمض الفوسفوريك، وهو فوسفات الكالسيوم، من المكونات الرئيسية في عظام الإنسان وغيره من الحيوان.

كذلك فإن القواعد، مثل هيدروكسيد الصوديوم، وكربونات الصوديوم، والنشادر، لها دور هام في كثير من الصناعات مثل صناعة الصابون، والمنظفات الصناعية، وصناعة الورق والحبر الصناعي والنسيج، وصناعة الدواء وبعض أنواع المخصبات الزراعية وغيرها.

ولا يمكن تصور علم الكيمياء أو الصناعات الكيميائية في غياب مثل هذه الأحماض والقواعد الأساسية.

أما الأملاح، فهي تكون عادة بتفاعل الحمض مع القاعدة، ويمكن القول أن الملح يتكون من الحمض عندما تحل ذرة من الفلز محل ذرة أو أكثر من ذرات هيدروجين الحمض.

وكثير من هذه الأملاح يخدم أغراضا رئيسية في الصناعات الكيميائية، فبعضها يعمل كمخصبات زراعية مثل أملاح التترات والفوسفات، وبعضها يدخل في صناعة المنظفات، وفي صناعة الورق والنسيج، كما أن منها ما يستعمل في صنع أنواع من الطلاء، ويدخل في صناعة الأسمنت والخزف والبورسلين وفي عمليات البناء، أو في عمليات التصوير أو في صنع الدواء.

وسنعرض في الفصول التالية بعض الطرق المستخدمة في صناعة الأحماض المعدنية الثلاثة وحمض الفوسفوريك، وكذلك طرق تصنيع كل من هيدروكسيد الصوديوم، وكربونات الصوديوم، والنشادر، باعتبار هذه المواد هي المواد الأساسية في كل الصناعات الكيميائية الأخرى.

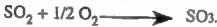


## الاحماض

### حمض الكبريتيك

حمض الكبريتيك أحد الأحماض المعدنية الثلاثة، بل هو يعد أهم هذه الأحماض؛ لأنه يستخدم في كثير من العمليات الصناعية المختلفة، كما يستعمل في تحضير عدة مئات من المواد الكيميائية الهامة التي يحتاجها الإنسان في حياته اليومية.

ويحضّر الحمض عادة بأكسدة الكبريت أولا إلى غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يتفاعل بعد ذلك مع أكسجين الهواء معطيا غاز ثالث أكسيد الكبريت الذي يعطى عند ذوبانه في الماء حمضا مخففا هو حمض الكبريتيك.

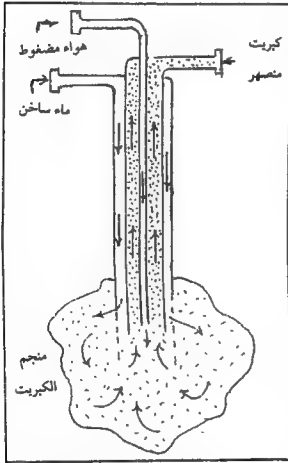


وتتم الخطوة الأولى للتفاعل بسهولة كبيرة، وذلك بحرق الكبريت في تيار من الهواء، ولكن الخطوة الثانية التي يتحول فيها ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت لا تتم بسهولة، بل هي تحتاج إلى عامل مساعد لإتمام هذه الأكسدة مثل أكاسيد التروجين أو فلز البلاتين أو أكسيد الفناديوم.

ونظرا لفسخامة الكميات التي تحتاجها الصناعات المختلفة من حمض الكبريتيك، فإن الأمر يقتضى البحث عن عنصر الكبريت واستخراجه من باطن الأرض بكميات تكفى لمجابهة هذه الاحتياجات.

وتوجد مناجم الكبريت بصفة أساسية في إيطاليا وفي جزيرة صقلية، وكذلك في الولايات المتحدة الأمريكية.

ويستخرج الكبريت من مناجمه في إيطاليا بحرق جزء منه واستقبال الجزء المنصهر الذي يصعد فوق سطح الأرض، ولكن هذه الطريقة غير اقتصادية، ولذلك يستخرج الكبريت من باطن الأرض في الولايات المتحدة بطريقة أحدث تعرف باسم طريقة «فراش Frasch» نسبة إلى مبتكرها.



وتتلخص هذه الطريقة في

دفع عدة أنابيب تحيط كل منها بالآخرى إلى باطن الأرض في المنطقة التي يوجد بها الكبريت الخام.

ويدفع في الأنبوبة الخارجية ماء ساخن، ويصل قطر الأنبوبة إلى نحو خمسة عشر ستيمترا، وعندما يصل هذا الماء الساخن إلى رواسب الكبريت في باطن الأرض، يبدأ الكبريت في الانصهار، ويصعد إلى سطح الأرض عن طريق الأنبوبة الوسطى التي يصل قطرها إلى نحو ٧,٥ من الستيمترات، ويساعد على ذلك تيار من الهواء المضغوط يدفع في الأنبوبة الداخلية التي يصل قطرها إلى نحو ٢,٥ من الستيمترات.

ويستفاد في هذه الطريقة من انخفاض درجة الحرارة التي ينصهر عندها الكبريت، وهي قليلة التكاليف، والكبريت الناتج منها عالي النقاوة.

وهناك طريقتان لتحضير حمض الكبريتيك صناعيا، تعرف الأولى منهما باسم طريقة الغرف الرصاصية، وتعرف الطريقة الثانية باسم طريقة التماس، وتعتمد كلتا الطريقتين على أكسدة غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى غاز ثالث أكسيد الكبريت في وجود عامل مساعد.

### طريقة الغرف الرصاصية : Lead Chamber Process

استخدمت هذه الطريقة لتحضير حمض الكبريتيك صناعيا في خلال القرن الثامن عشر، وهي تعتمد على أكسدة غاز ثاني أكسيد الكبريت باستخدام بعض أكاسيد التروجين.

ولا تحتاج هذه الطريقة إلى كميات كبيرة من أكاسيد التروجين، فهذه الأخيرة تعمل كمعامل مساعد فقط ويعاد استخدامها في دورة الغازات التي تتضمنها العملية. ويتم تحضير أكاسيد التروجين إما بإمرار تيار الهواء وغاز ثاني أكسيد الكبريت فوق أحواض خاصة تحتوي على حمض التريك، أو يتم تحضيرها بأكسدة النشادر بالهواء على شبكة من فلز البلاتين.

أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فيحضر في الطريقة القديمة بحرق بعض كبريتيدات الفلزات مثل كبريتيد الحديد أو كبريتيد الرصاص أو كبريتيد النحاس، وكان من المفضل استخدام كبريتيد الحديد [بايريت الحديد] في هذه الطريقة لأنه يحتوي في أغلب الأحوال على قدر زائد من الكبريت، وبذلك يمكنه أن يعطي كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكبريت عند حرقه في الهواء. يضاف إلى ذلك أن بايريت الحديد بعد اشتعاله كان يستمر في الاحتراق وحده مادام هناك تيار كاف من الهواء.

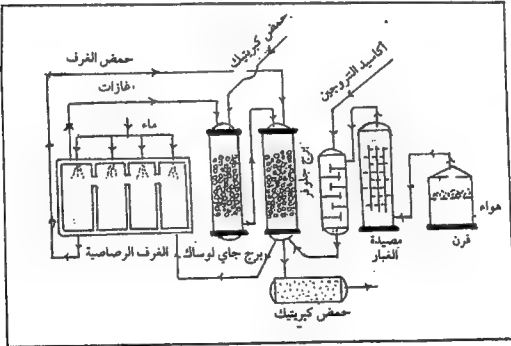
وعند زيادة الطلب على حمض الكبريتيك، لم تعد كميات بايريت الحديد تكفي لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكبريت المطلوبة، ولذلك استبدل البايريت بكتل الكبريت التي كانت تحرق في فرن خاص.

وتتم في هذه الطريقة أكسدة غاز ثاني أكسيد الكبريت بأكاسيد التروجين في غرف من الخشب يغطي سطحها الداخلي بطبقة من فلز الرصاص، ولهذا عرفت هذه الطريقة باسم طريقة الغرف الرصاصية.

والسبب فى استخدام شرائح من فلز الرصاص لتطين هذه الغرف، أن الرصاص عندما يتفاعل مع أبخرة حمض الكبريتيك الناتجة من عملية الأكسدة تتكون على سطحه طبقة رقيقة من كبريتات الرصاص التى لا تقبل الذوبان فى الماء أو فى الحمض، ولهذا فهى تحمى طبقة الرصاص الواقعة تحتها وتمنعها من التآكل والذوبان.

وعادة ما تستعمل فى هذه الطريقة أربع حجرات فى نظام متتابع بحيث تقع كل واحدة منها وراء الأخرى، وتبلغ سعة هذه الحجرات أو الغرف مجتمعة عدة آلاف من الأمتار المكعبة، ويسمح هذا الحجم الكبير بالتقاء خليط الغازات معا وحلوث الأكسدة، ويرش من قمة كل غرفة من هذه الغرف رذاذ من الماء لإذابة حمض الكبريتيك الناتج.

وتبدأ الطريقة بإحراق الكبريت فى فرن خاص يمر فيه تيار من الهواء، ثم يمر خليط الغازات الساخنة الذى يتكون من غاز ثانى أكسيد الكبريت والهواء فى مرطويل لترسيب ما قد يعلق بهذا الخليط من شوائب أو غبار، ثم يمر على



تحضير حمض الكبريتيك بطريقة الغرف الرصاصية

أوعية خاصة بها بعض حمض التريك حتى يحمل معه هذا الخليط بعض أكاسيد التروجين المطلوبة لإتمام الأكسدة.

وقد يستبدل هذا المر بيرج خاص يقوم بامتصاص الشوائب والغبار، كما قد يستخدم برج آخر لخلط الهواء وغاز ثاني أكسيد الكبريت بأكاسيد التروجين.

ويدفع خليط الهواء وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد التروجين بعد ذلك في قاع برج خاص يحتوى على حلقات من السيراميك أو البورسلين، ويعرف هذا البرج باسم «برج جلوفر» «Glover»، ويسقط من قمة هذا البرج رذاذ من خليط من حمض الغرف، وهو الحمض المتكون في الغرف الرصاصية، وبعض حمض الكبريتيك المحمل بأكاسيد التروجين الوارد من برج آخر يعرف باسم «برج جاى لوساك» «Guy Lusa».

وتحمل الغازات الساخنة الخارجة من الجزء السفلى من برج جلوفر أكاسيد التروجين معها، كما تحمل معها بخار الحمض، وتدخل بها إلى الغرف الرصاصية حيث تتم أكسدة غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى غاز ثالث أكسيد الكبريت، ويلاحظ أن الغازات تكون عديمة اللون تقريبا في الحجرة الأولى لعدم احتواء هذه الغازات على الأكاسيد العليا للتروجين، ثم يتلون خليط الغازات في الغرفة الأخيرة بلون أحمر ضلوبي إلى البنى بسبب تكون فوق أكسيد التروجين.

ويؤدى رذاذ الماء المتساقط من سقف هذه الغرف إلى إذابة بعض هذه الغازات وبعض أبخرة الحمض الناتجة من أكسدة ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت، ويتجمع الحمض الناتج الذي يعرف باسم حمض الغرف على قاع هذه الغرف على حين تعاد الغازات إلى قمة برج جاى لوساك.

وتتكون الغازات الخارجة من الغرف من خليط من أكاسيد الكبريت وبعض أكاسيد التروجين، بالإضافة إلى بعض غاز التروجين الناتج من الهواء المستخدم في الأفران لإحراق الكبريت.

ويقابل هذا الخليط عند دخوله إلى برج جاى لوساك تيارا من حمض الكبريتيك المخفف نسبيا والذي لا يزيد تركيزه على ٨٠٪، وتساعد قطع فم الكوك التى يشحن بها برج جاى لوساك على الاختلاط الجيد بين تيار الحمض وتيار الغازات، ويقوم حمض الكبريتيك بامتصاص أكاسيد التروجين من هذه

الغازات مكونا مركبا يعتقد أنه حمض نتروزوكبريتيك  $\text{NO} \cdot \text{HSO}_4$  ، ويعيدها مرة أخرى إلى برج جلوفر.

ويتضح من ذلك أن الفائدة الأساسية لبرج جاي لوساك هي الاحتفاظ بأكاسيد النتروجين في دورة الغازات، أما برج جلوفر فهو يعيد هذه الأكاسيد إلى الغرف الرصاصية، بالإضافة إلى أنه يساعد على خفض درجة حرارة هذه الغازات والغازات الأخرى الآتية من أفران أكسدة الكبريت إلى نحو  $50^\circ$  درجة سلتزيوس، بالإضافة إلى أنه يساعد كذلك على تركيز الحمض الوارد من الغرف.

ويتجمع الناتج النهائي من حمض الكبريتيك في قاع برج جلوفر، ويسحب منه كل فترة، ويحتوى هذا الحمض على قليل من كبريتات الرصاص، وآثار من الزرنيخ، وبعض أكاسيد النتروجين، ويمكن التخلص من أكاسيد النتروجين بإضافة بضع بلورات من كبريتات الأمونيوم إلى هذا الحمض.

وقد تطورت هذه الطريقة في زمن لاحق، واستبدلت الغرف الرصاصية بأبراج أسطوانية يتساقط من قمته رذاذ الماء، وتبرد من خارجها بتيار من الماء، ثم حلت محلها طريقة أخرى أحدث منها تعرف بطريقة التماس.

#### طريقة التماس Contact Process :

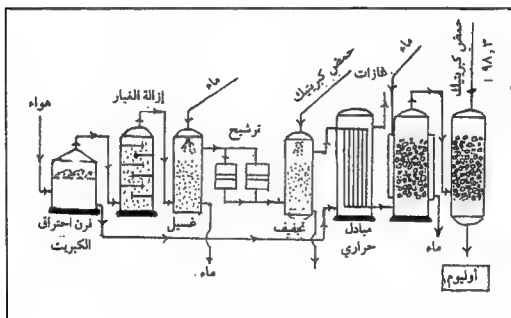
لا يتفاعل غاز ثنائي أكسيد الكبريت مع الأكسجين مباشرة، ويمكن الاحتفاظ بخليط جاف منهما مدة طويلة دون أن يحدث تفاعل بينهما. ويستلزم حدوث هذا التفاعل وجود عامل مساعد أو حافز، مثل أكاسيد النتروجين في طريقة الغرف الرصاصية.

وقد استخدم فيما بعد فلز البلاتين المجزأ تحزيثا دقيقا لإحداث هذا التفاعل وعرف باسم «أسود البلاتين» «Platinum Black» وكان يرسب على ألياف الأسبتوس في الطريقة التي عرفت باسم «طريقة باديش» «Badische»، أو يرسب على كبريتات المغنسيوم اللامائية في الطريقة التي عرفت باسم طريقة «جريللو» «Grillo».

وقد استبدل البلاتين فى طرق أخرى أكثر حداثة بأكسيد الفناديوم  $[V_2O_5]$  الذى يصنع على هيئة أقراص صغيرة يعبأ بها برج التفاعل .

ويلاحظ أن هذه الطريقة تعتمد اعتمادا كبيرا على نشاط العامل الحافز المستخدم، ولذلك يجب المحافظة على نشاطه طول الوقت، ويتقضى ذلك تخلص غاز ثانى أكسيد الكبريت الناتج من حرق الكبريت من جميع الشوائب الموجودة به والتي قد تسبب تسمم العامل المساعد وفقدانه لنشاطه .

وبعض هذه الشوائب قد يظهر على هيئة غبار دقيق من بعض ذرات الكبريت التى قد تعلق بالغاز، أو بعض آثار من الزرنيخ والزرنيق والفوسفور التى قد تترسب على سطح العامل المساعد وتقلل كثيرا من نشاطه وفعاليته، ولذلك يجب التخلص من الغبار فى أبراج خاصة ثم غسل الخليط الغازى فى أبراج أخرى وترشيحه بعد ذلك وهو رطب للتخلص نهائيا من هذه الشوائب .



تحضير حمض الكبريتيك بطريقة التماس

وقد وجد أن كمية ثالث أكسيد الكبريت الناتجة في تفاعل الأكسدة تزداد بزيادة كمية غاز الأكسجين، ولهذا السبب تزداد كمية الهواء المصاحبة لغاز ثاني أكسيد الكبريت بحيث يتكون خليط التفاعل الغازي من نحو ٧٪ من ثاني أكسيد الكبريت، ونحو ١٠٪ من الأكسجين، ونحو ٨٣٪ من النتروجين.

كذلك وجد أن جزءاً من غاز ثالث أكسيد الكبريت المتكون في التفاعل يتفكك عند درجة الحرارة العالية، وخاصة أن تفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت مع غاز الأكسجين تفاعل طارد للحرارة كما يبدو من المعادلة التالية :



ولذلك يجب الحفاظ على درجة حرارة خليط التفاعل عند حدود معينة للحصول على أفضل نسبة من ثالث أكسيد الكبريت، فقد وجد أن خليط الغازات السابق يعطى نحو ٩٦٪ من ثالث أكسيد الكبريت عند ٥٠٠° سلزيوس، ولكن الناتج ينخفض إلى نحو ٨٥٪ إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ٧٠٠° سلزيوس.

ولا يحدث التفاعل بين الغازين إلا بعد رفع درجة حرارة الخليط الغازي إلى حد معين لا يزيد على ٥٠٠° سلزيوس على الأكثر، ولهذا فإنه بعد انتهاء ترشيح خليط الغازات، يجفف الخليط. بإمراره في برج مملوء بالكوارتز ويتساقط من قمته حمض كبريتيك متوسط القوة، ثم يدفع إلى مبادل حراري يعمل بالاستفادة من الحرارة الناتجة من فرن حرق الكبريت، وذلك لرفع درجة حرارة الخليط إلى نحو ٤٠٠° سلزيوس، ثم يدفع إلى برج التفاعل حيث ترتفع درجة حرارته مرة أخرى إلى نحو ٥٥٠° سلزيوس.

ونظراً لأن التفاعل طارد للحرارة، فإنه يلزم تبريد برج التفاعل من الخارج بإمرار الشبازات الداخلة إليه حول سطحه الخارجي مما يساعد على خفض درجة الحرارة في داخل البرج إلى نحو ٤٢٠° سلزيوس. كما أنه يساعد على تسخين الغازات الداخلة إليه إذا لم تكن عملية التبادل الحراري عالية الكفاءة. ويمكن إجراء هذا التبريد بتيار ماء يمر في قميص يحيط ببرج التفاعل، وذلك للمحافظة على كفاءة الحافز والحصول على نسبة عالية من غاز ثالث أكسيد الكبريت.



ويحتوى غاز ثالث أكسيد الكبريت الناتج من التفاعل على نسبة عالية من غاز التروجين الموجود أصلا فى الهواء المستخدم فى عملية الأكسدة، ولكنه لا يؤثر على حصيللة التفاعل.

ولا يذوب ثالث أكسيد الكبريت بسهولة فى الماء، ولذلك فهو يدفع إلى برج خاص يتساقط من قمته رذاذ من حمض الكبريتيك تركيزه نحو ٩٨,٣٪. وتؤدى هذه الطريقة إلى إنتاج حمض كبريتيك مدخن يعرف باسم «أوليوم» «Oleum» وهو عادة ما يكون نقيا وخاليا من الزرنيخ، ويمكن الاحتفاظ بتركيز الحمض الناتج عند ٩٨,٣٪ بإدخال تيار محسوب من الماء من قمة البرج، ثم استخدام هذا الحمض مرة أخرى فى امتصاص ثالث أكسيد الكبريت.

### حمض الهيدروكلوريك

يحضر حمض الهيدروكلوريك بتسخين كلوريد الصوديوم مع حمض آخر أقل تطايرا مثل حمض الكبريتيك.

وتم هذا التفاعل على خطوتين، حيث تتكون فى الخطوة الأولى كبريتات الصوديوم الهيدروجينية، وذلك عند إجراء التفاعل عند درجات الحرارة العادية أو المتوسطة، ثم تتكون فى الخطوة الثانية كبريتات الصوديوم عند رفع درجة حرارة خليط التفاعل.



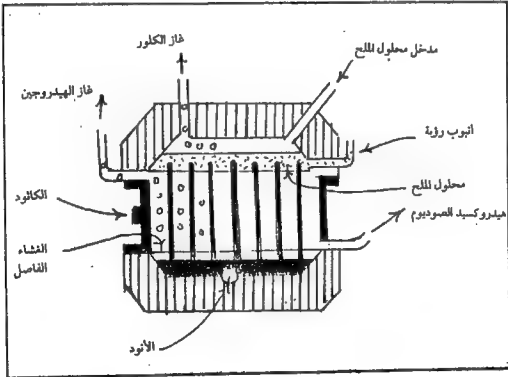
وكانت هذه الطريقة تجرى على نطاق واسع عند تحضير كربونات الصوديوم بطريقة «لويسلان» [انظر كربونات الصوديوم]، وكان الحمض الناتج منها ويعرف باسم الحمض التجارى يحتوى على بعض الشوائب، مثل آثار من حمض الكبريتيك وقليل من كلوريد الحديدك، وبعض الزرنيخ وغاز الكلور.

ويحضر الحمض حاليا بالتفاعل المباشر بين غاز الكلور وغاز الهيدروجين، ويتم التفاعل بينهما عند إمرار خليط منهما فوق الفحم المنشط.

ويتكون كل من غاز الكلور وغاز الهيدروجين عند تحضير هيدروكسيد الصوديوم فى خلية كهربائية تعرف باسم «خلية هوكر» Hooker Cell.

ويتم فى هذه الخلية تحليل محلول كلوريد الصوديوم بين كاثود من صفائح مثقبة من الصلب مغطاة بغشاء شبه منفذ وبين مجموعة من أقطاب موجبة تمثل الأنود، ومصنوعة من الجرافيت.

ويلاحظ أن هذه الخلية تحقق الفصل التام بين أيونات الصوديوم وأيونات الكلور، ويتساعد منها غاز الكلور من فتحة خاصة تعلو أقطاب الأنود، كما يتساعد غاز الهيدروجين من فتحة أخرى تعلو صفحة الكاثود على حين يتكون هيدروكسيد الصوديوم الذى يسحب من فتحة فى الجزء الأسفل من الخلية. ويلاحظ أن غاز الهيدروجين ينتج من تحليل جزيئات الماء فى أثناء إمرار التيار الكهربائى.



خلية هوكر لتحضير غازى الكلور والهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم

والغاز الناتج من تفاعل غازى الكلور والهيدروجين هو غاز كلوريد الهيدروجين، وهو سهل الذوبان فى الماء معطيا حمض الهيدروكلوريك. ويذوب كل حجم واحد من الماء نحو ٥٠٠ حجم من غاز كلوريد الهيدروجين عند درجة الصفر، ونحو ٤٤٠ حجما منه عند ٢٠ سلزيوس، ويقل ذوبان الغاز فى الماء كلما ارتفعت درجة الحرارة.

ويمكن الحصول على محلول مشبع من غاز كلوريد الهيدروجين فى الماء عند ١٨ سلزيوس، ولكن نسبته لا تزيد على ٤٢٪. ولا يمكن تركيز حمض الهيدروكلوريك بالتقطير، لأن غاز كلوريد الهيدروجين يتصاعد من المحلول بارتفاع درجة الحرارة، وعندما تصل درجة الحرارة إلى ١١٠ سلزيوس يتوقف تصاعد غاز كلوريد الهيدروجين، ويبدأ حمض الهيدروكلوريك فى التقطير، ولكن تركيزه فى هذه الحالة لا يزيد على ٢٤, ٢٠٪، وهو يعرف باسم حمض الهيدروكلوريك ثابت الغليان.

وحمض الهيدروكلوريك حمض قوى، وهو يذيب كثيرا من الفلزات مع تصاعد الهيدروجين، ومن أمثلة هذه الفلزات الحديد، والزنك، والقصدير.

ويستعمل خليط من حمض الهيدروكلوريك وحمض النتريك فى إذابة الذهب والبلاتين، ويعرف هذا الخليط باسم الماء الملكى «Aqua Regia» لقدرته على إذابة مثل هذه الفلزات النفيسة التى لا تذوب فى بقية الأحماض.

كذلك يستعمل حمض الهيدروكلوريك فى كثير من العمليات الصناعية، وفى تنظيف أسطح الفلزات وغير ذلك. وتستعمل بعض أملاحه مثل كلوريد البوتاسيوم فى تحضير المخصبات الزراعية الغنية بالبوتاسيوم، كما يستعمل كلوريد الصوديوم فى حفظ بعض اللحوم والأسماك وما إليها.

### حمض النتريك

حضر الحمض فيما مضى بتسخين أحد أملاحه مثل نترات البوتاسيوم التي توجد طبيعياً في شيلي، مع حمض آخر أقل تطايراً مثل حمض الكبريتيك، وكانت هذه العملية تتم في أوعية من الحديد متصلة بأنابيب من الفخار لتكثيف حمض النتريك الذي يتقطر بالتسخين.

ويتم التفاعل في هذه الحالة على خطوتين، فتتكون في الخطوة الأولى كبريتات البوتاسيوم الهيدروجينية، ويتقطر حمض النتريك.



وتتضمن الخطوة الثانية للتفاعل رفع درجة الحرارة لإحداث التفاعل بين كبريتات البوتاسيوم الهيدروجينية ومزيد من نترات البوتاسيوم.



ولكن رفع درجة الحرارة يؤدي إلى انحلال الحمض الناتج، ولهذا السبب تستعمل نترات الصوديوم في هذا التفاعل بدلاً من نترات البوتاسيوم، حيث إن تفاعل كبريتات الصوديوم الهيدروجينية مع مزيد من نترات الصوديوم لا يحتاج إلى درجة حرارة عالية، وبذلك لا ينحل الحمض الناتج.

ومن الممكن إجراء عملية التقطير السابقة تحت ضغط منخفض نسبياً، ولكن الحمض الناتج يحتوي على كمية من غاز فوق أكسيد النتروجين  $[\text{NO}_2]$ .

وعادة ما يحتوي الحمض الناتج على قليل من هذا الغاز، ولكن نظراً لأنه سهل التطاير فيمكن التخلص منه بإمرار تيار من الهواء في الحمض.

والحمض الناتج بهذه الطريقة يكاد يكون خالياً من الماء، ويصل تركيزه إلى نحو ٩٩٪، ويمكن الاحتفاظ بتركيز الحمض ثابتاً عند حفظه في الظلام، ولكن سريعاً ما يتغير لونه عند تركه معرضاً للضوء، ويتحول إلى اللون البني بسبب تحلله، أما الحمض الثابت إلى حد كبير فهو حمض النتريك الذي يصل تركيزه إلى نحو ٦٠٪، ووزنه النوعي ١,٤، وهو يعطى التفكك إلى حد كبير.

ويمكن الحصول على حمض نترك تركيزه ١٠٠٪ على هيئة سائل لا لون له بإضافة كمية محسوبة بدقة من بلورات أنهدريد التريك  $[N_2 O_5]$  إلى الحمض المخفف، ولكن هذا الحمض لا يستمر تركيزه ثابتا فهو يتفكك بمرور الوقت.

ولا يمكن تركيز حمض التريك بطريقة التقطير، وذلك بسبب سرعة تفككه بالحرارة، وأيضا بسبب تكوينه لمحلول ثابت الغليان من الحمض في الماء، يصل تركيزه إلى ٦٨٪، وهو حمض التريك المستخدم تجاريا ووزنه النوعي ١,٤١٤.

ويمكن الحصول على حمض نترك مدخن، وهو عامل مؤكسد قوى، إما بإمرار غاز ثاني أكسيد النتروجين  $[NO_2]$  في حمض التريك المركز وإما باختزال الحمض بالفورمالدهيد. والحمض المدخن بنى اللون مائل للاحمرار، ويعتمد تركيزه على كمية ثاني أكسيد النتروجين الذائبة فيه، ويتراوح وزنه النوعي بين ١,٥٠٧ و ١,٥٤٤.

ويحضر الحمض على نطاق واسع بأكسدة النشادر بأكسجين الهواء على سطح شبكة من البلاتين ساخنة لدرجة الاحمرار، وتتأكسد النشادر تحت هذه الظروف إلى أكسيد التريك الذى يمتص بعد ذلك بالماء.



ويجب ألا تزيد نسبة النشادر التى تخلط بالهواء على ٨٪، لأن الزيادة منها لن تتأكسد، بل ستفاعل فى نهاية الأمر مع بعض حمض النتروز المتكون معطية النتروجين مما يقلل كثيرا من حصيللة التفاعل.



كذلك يجب ألا تزيد درجة حرارة شبكة البلاتين، التى تقوم بعمل العامل المساعد، على ٧٠٠ - ٨٠٠ سيزيوس، كما لا يزيد زمن التلامس مع هذه الشبكة على جزء من ألف جزء من الثانية حتى لا ينحل أكسيد التريك الناتج إلى أكسجين و نتروجين، ويقلل بذلك حصيللة التفاعل، ويتم التحكم فى زمن التلامس بضبط سرعة مرور الخليط على سطح الشبكة البلاتين.

ولا يتم امتصاص أكسيد التريـك الناتج فى الماء، ولكن يتم امتصاصه فى محلول مخفف من حمض التريـك، وتجرى هذه العملية فى أبراج خاصة وتعرف باسم طريقة التيار العكسى، فيدفع خليط الغازات الناتجة فى التفاعل، والمحتوية على أكسيد التريـك، من أسفل الأبراج على حين يتساقط من قممها رذاذ من الحمض المخفف.

وعادة ما تحتاج هذه العملية إلى ٥ أو ٧ أبراج مملوءة بقطع من الكوارتز، ويزداد فيها تركيز حمض التريـك من البرج الأول إلى الأخير.

### حمض الفوسفوريك

يطلق اسم حمض الفوسفوريك على حمض الأورثوفوسفوريك  $H_3 PO_4$  وهو من أهم الأحماض غير العضوية، ويغلب استخدامه فى إنتاج المخصبات الفوسفاتية.

ويحضر الحمض فى الصناعة من صخر الفوسفات الذى يعد مصدرا رئيسيا لهذا الحمض وللمخصبات الفوسفاتية. ويتكون صخر الفوسفات من فوسفات ثلاثى الكالسيوم، وغالبا ما تكون الحامة مختلطة ببعض فلوريد الكالسيوم، ويتم تركيزها بعد استخراجها من مناجمها للتخلص مما بها من شوائب كالرمال وبعض المواد الأخرى، حتى تزداد بها نسبة الفوسفات التى تقدر عادة على هيئة النسبة المثوية لما تحتويه من خامس أكسيد الفوسفور، وتسمى الحامة التى تحتوى على نحو ٣٤٪ من خامس أكسيد الفوسفور بالحامة عالية الدرجة.

وتوجد صخور الفوسفات فى كثير من البلدان مثل الولايات المتحدة وتونس والجزائر، وفى مناجم إبي طرطور فى جمهورية مصر العربية.

ويحضر حمض الفوسفوريك من صخور الفوسفات بإحدى طريقتين، تعرف أولاهما باسم الطريقة الرطبة، وتعرف الثانية باسم طريقة الفرن الكهربائى.

## الطريقة الرطبة :

تعتبر هذه الطريقة هي الأكثر شيوعا واستخداما في تحضير حمض الفوسفوريك، وفيها يطحن صخر الفوسفات جيدا، ثم يعالج بـحمض الكبريتيك متوسط التركيز، والذي لا يزيد تركيزه عادة على ٥٥٪، وقد يصل تركيزه في بعض الحالات إلى نحو ٧٠٪، وتؤدي الحرارة الناتجة من تخفيف الحمض إلى بدء التفاعل حيث يتكون حمض الفوسفوريك وكبريتات الكالسيوم.



ولا تذيب كبريتات الكالسيوم في الماء، ولذلك فهي ترشح وتغسل بقليل من الماء، أما حمض الفوسفوريك فيبقى في المحلول.

والحمض الناتج من هذه العملية يكون حمضا مخففا، وهو يركز عادة بتبخير المحلول تحت الضغط المخفف.

والحمض التجاري الذي ينتج بهذه الطريقة يصل تركيزه إلى نحو ٧٥٪  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ، أي ما يكافئ ٥٤٪ من خامس أكسيد الفوسفور، وهو لا يكون نقيا عادة، بل يحتوي على أغلب الشوائب التي يحتوي عليها صخر الفوسفات، فهي تذيب كذلك في حمض الكبريتيك وتبقى مختلطة بـحمض الفوسفوريك المتكون.

ولا يصلح حمض الفوسفوريك الناتج لتحضير أملاح الفوسفات النقية، كما أنه لا يصلح للاستخدام في المعامل، ولكنه يستخدم عادة في إنتاج المواد المخصبة الفوسفاتية إذ إن ما به من شوائب لن يؤثر كثيرا على صلاحية الأسمدة الناتجة.

ويحتاج إنتاج طن من حمض الفوسفوريك ٧٥٪، إلى ١,٨ طن من صخر الفوسفات المحتوي على ٣٢٪ خامس أكسيد الفوسفور، وإلى ١,٧ طن من حمض الكبريتيك ٩٤٪، ونحو ٦٠ مترا مكعبا من الماء.

ويتكون في هذه العملية نحو ثلاثة أطنان من كبريتات الكالسيوم (الجبس)  $[\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}]$  كناتج ثانوي.

وأغلب الإنتاج العالمي من حمض الفوسفوريك يحضر بهذه الطريقة للحاجة الماسة إليه في تحضير المخصبات الفوسفاتية التي لا تحتاج إلى استعمال حمض عالي النقاوة.

## طريقة الفرن الكهربائي :

يستخدم صخر الفوسفات أيضا في هذه الطريقة وهي تتم باختزاله أولا إلى عنصر الفوسفور في فرن كهربائي بواسطة فحم الكوك والرمل عند درجة حرارة عالية، حيث تتكون سليكات الكالسيوم وتختزل مجموعة الفوسفات إلى الفوسفور.

ويتم بعد ذلك أكسدة الفوسفور بالهواء الجوى إلى خامس أكسيد الفوسفور الذى يذاب فى الماء معطيا حمض الفوسفوريك.

ويستخدم لإنتاج طن من حمض الفوسفوريك ١٠٠٪ بهذه الطريقة نحو ٢,٥ طن من صخر الفوسفات، و ٤٤٠ كيلوجراما من فحم الكوك، ونحو طن من الرمل، ويتخلف من هذه العملية نحو ٢,٣ طن من سليكات الكالسيوم  $[Ca Si O_3]$  كناتج ثانوى يمكن استخدامه فى رصف الطرق أو فى صناعة الزجاج.

والحمض المنتج بهذه الطريقة عالى النقاوة؛ ولذلك يستخدم فى تحضير أملاح الفوسفات النقية.

## المخصبات الفوسفاتية :

يتكون صخر الفوسفات من فوسفات ثلاثي الكالسيوم، وهو لا يذوب فى الماء، ولذلك يجب تحويله إلى مادة تقبل الذوبان فى مياه الري حتى يكون عنصر الفوسفور فى متناول النبات عن طريق المحاليل المائية التى يمتصها من التربة.

ويتم ذلك بمعاملة صخر الفوسفات بـ حمض الكبريتيك كما فى الطريقة المستخدمة لتحضير حمض الفوسفوريك، ولكن حمض الكبريتيك المستخدم فى هذه الحالة يصل تركيزه إلى نحو ٧٠٪ ولا تزيد كميته على القدر اللازم لحدوث التفاعل.

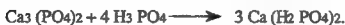
ويترك مخلوط التفاعل لمدة يومين، ثم يطحن بعد أن يتجمد إلى مسحوق. وينتج فى هذا التفاعل خليط من فوسفات أحادي الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم، ويعرف هذا الخليط باسم «سماد السوبر فوسفات».





ونظرا لوجود كبريتات الكالسيوم مع فوسفات أحادى الكالسيوم فإن محتوى السوبر فوسفات العادى من خامس أكسيد الفوسفور يتراوح بين ١٨ - ٢٢٪ فقط.

وهناك نوع آخر يعرف باسم «تربل سوبر فوسفات»، وهو يتج من معاملة صخور الفوسفات بحمض الفوسفوريك بدلا من حمض الكبريتيك، ويتكون فى هذا التفاعل فوسفات أحادى الكالسيوم.



فوسفات أحادى الكالسيوم

ويحتوى سماد التربل سوبر فوسفات على نحو ٤٥ - ٥٠٪ من خامس أكسيد الفوسفور، أى نحو ثلاثة أمثال ما يحتويه سماد السوبر فوسفات من الفوسفور، ولذلك تستخدم منه كميات أقل لإخصاب التربة الزراعية بالفوسفور.

كذلك يحضر من حمض الفوسفوريك والنشادر نوعان من المخصبات الفوسفاتية، وهما فوسفات أحادى الأمونيوم  $[\text{NH}_4. \text{H}_2\text{PO}_4]$  وفوسفات ثنائى الأمونيوم  $[(\text{NH}_4)_2. \text{H}_2\text{PO}_4]$ ، وهما يتميزان بمحتواهما العالى من خامس أكسيد الفوسفور (٥٥٪، ٤٦٪ على الترتيب) وكذلك باحتوائهما على عنصر النتروجين (١١٪، ١٨٪ على الترتيب)، وبذلك يصلحان للاستخدام كمخصبات فوسفاتية ونيروجينية فى نفس الوقت.



## القواعد

### هيدروكسيد الصوديوم

يعرف هيدروكسيد الصوديوم عند أغلب الناس باسم «الصودا الكاوية» وذلك بسبب تأثيرها الكاوي والحارق على جلد الإنسان.

وكانت الصودا الكاوية تصنع فيما مضى من كربونات الصوديوم، وذلك بتسخين محلولها في الماء مع الجير في أوعية من الحديد، ويحدث في هذا التفاعل تبادل مزدوج بين كل من كربونات الصوديوم وهيدروكسيد الكالسيوم، فينتج عنه تكون كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الصوديوم.



ولا تذوب كربونات الكالسيوم في الماء؛ ولهذا تفصل بالترشيح، أما هيدروكسيد الصوديوم فيبقى في الماء.

ويجب ألا يزيد تركيز محلول كربونات الصوديوم المستخدم في التفاعل على ١٠٪ على أكثر تقدير، لأنه عند زيادة تركيزها يسير التفاعل في الاتجاه العكسي حيث يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم، الناتج في هذه الحالة، مع كربونات الكالسيوم معطياً كربونات الصوديوم وهيدروكسيد الكالسيوم مرة أخرى، والسبب في ذلك أن هيدروكسيد الصوديوم الناتج في هذه الحالة سيكون تركيزه مرتفعاً مما يؤدي إلى حدوث التفاعل العكسي.

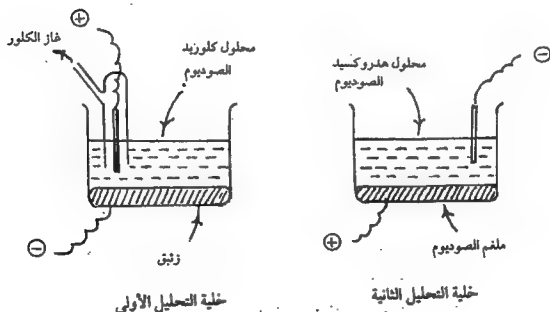
ويعد ترشيح كربونات الكالسيوم، يركز محلول هيدروكسيد الصوديوم حتى يصل تركيزه إلى الحد المطلوب، ثم يصفى بالترويق مما قد يوجد به من شوائب، ويعمر فيه الهواء لأكسدة ما قد يكون به من كبريتيدات أو مركبات السيانيد.

وأهم طرق تحضير هيدروكسيد الصوديوم هي طريقة التحليل الكهربائي لمحلول ملح الطعام (كلوريد الصوديوم).

وعند إمرار التيار الكهربائي في المحلول يتصاعد غاز الكلور عند الأنود ويتكون هيدروكسيد الصوديوم عند الكاثود، مع ملاحظة الفصل بين نواتج التحليل المتكونة عند كل من الأنود والكاثود لضمان نجاح عملية التحليل، بالإضافة إلى أن تفاعل غاز الكلور الناتج مع محلول هيدروكسيد الصوديوم المتكون قد يؤدي إلى تكوين أملاح الهيبوكلوريت والكلورات التي قد تؤدي إلى حدوث انفجار.

وتتم عملية التحليل الكهربائي بعدة أساليب، ففي الطريقة المعروفة باسم «طريقة كامستر - كلنر» Castner Kellner يحلل محلول ملح الطعام بين أنود من الكربون، وكاثود من الزئبق الذي يكون طبقة سفلى في قاع وعاء التحليل.

وعند إمرار التيار الكهربائي في خلية التحليل تتجه أيونات الصوديوم إلى الكاثود (إلى طبقة الزئبق) حيث تتفاعل معها مكونة ملغما مائعا ينقل باستمرار إلى خلية تحليل كهربائي ثانية، يتحول فيها الزئبق إلى أنود، ويكون فيها الكاثود من الحديد في وسط من محلول هيدروكسيد الصوديوم.



وتتشكل أيونات الصوديوم فى الخلية الثانية من ملغم الزئبق إلى الكاثود، وتتحد هناك مع الماء مكونة هيدروكسيد الصوديوم، وفى الوقت نفسه تتحد أيونات الهيدروكسيل المتجهة إلى الأنود مع الصوديوم الموجود بالملغم لتكون مزيدا من هيدروكسيد الصوديوم.

ويعزل غاز الكلور المتصاعد فى خلية التحليل الأولى، ويمرر فى أنابيب، وقد يحول إلى سائل بضغطه فى أسطوانات خاصة أو يستخدم فى تحضير حمض الهيدروكلوريك بمفاعله مع غاز الهيدروجين، أو يمرر على رفوف بها بعض الجير لتكوين مسحوق قصر الألوان.

وهناك طرق أخرى تجرى فيها عملية التحليل الكهربائى فى خلية خاصة بها حاجز ماسى يمنع اختلاط نواتج التحليل الكهربائى معا، ولكن مثل هذه الحواجز يجب أن تتوافر بها صفات معينة، منها ألا يتسبب هذا الحاجز فى تعطيل حركة الأيونات بين قطبى الخلية، وكذلك أن تكون مادته خاملة نسبيا ولا تتفاعل مع محلول البصودا الكاوية أو غاز الكلور.

وتصنع بعض هذه الحواجز من الأسبتوس المحمل مادة خاملة مثل كبريتات الباريوم، أو يصنع بعضها من الأسمنت الذى أضيف إليه بعض الملح فى أثناء شكه. وعندما يذوب هذا الملح فى الماء بعد أن يجمد الأسمنت يترك خلفه مسام دقيقة، ويصبح بذلك حاجز الأسمنت حاجزا مساميا ينفى بالغرض.

ولا تعيش هذه الحواجز طويلا، ويتم تغييرها عادة كل مدة من الوقت لا تزيد على شهر أو شهرين على الأكثر.

ويصنع الأنود فى هذه الخلايا من الجرافيت، أو من البلاتين والأليديوم حتى تقاوم التآكل بواسطة غاز الكلور، كما يصنع الكاثود الذى يتصاعد عنده غاز الهيدروجين من فلزات تسمح بخروج هذا الغاز بأقل قدر من فرق الجهد «Overvoltage» مثل فلز الحديد أو فلز النيكل.

وترتب الخلايا التى من هذا النوع عادة على التوالي، ولا يزيد فيها جهد التيار الكهربائى المستخدم على ٣,٧ - ٣ فولت، كما يلاحظ ألا ترتفع درجة الحرارة فيها على ٩٥ سلتزيوس.

ولتوفير التيار الكهربائي، توقف عملية التحليل عندما يصل تركيز محلول هيدروكسيد الصوديوم حول الكاثود إلى نحو ٧٪، ويؤخذ هذا المحلول فيما بعد، ثم يركز بالتبخير، ويفصل منه الكلوريد أولاً. ويلاحظ أن زيادة تركيز هيدروكسيد الصوديوم قد تؤدي إلى انحلال القلوي وتساعد غاز الأكسجين حول الأنود.

وهناك طريقة أخرى لتحضير هيدروكسيد الصوديوم بواسطة التحليل الكهربائي، ولكن استغنى فيها عن الحاجز المسامي، وذلك باستخدام ناقوس، وهي تشبه عملية التحليل الكهربائي في الأنابيب ذات الفرعين على شكل «U»، ويؤدي ذلك إلى منع اختلاط الكلور بالمادة القلوية، وخاصة إذا كان الكاثود أقل في مستوى من مستوى الأنود.

كذلك يمكن تحضير هيدروكسيد الصوديوم بتحليل محلول كلوريد الصوديوم في خلية كهربائية تعرف باسم خلية «هوكر» «HOOKER» ويمنع فيها اختلاط غاز الكلور بالقلوي [انظر تحضير الكلور في حمض الهيدروكلوريك].

ويمكن تنقية هيدروكسيد الصوديوم بالإذابة في الكحول ثم ترشيح المحلول الناتج للتخلص من كل من كلوريد الصوديوم وكربونات الصوديوم، وهي مواد لا تذوب في الكحول، ثم يبخر المحلول الناتج في أوعية من الفضة.

ويستخدم هيدروكسيد الصوديوم إما على هيئة محلول قد يصل تركيزه إلى نحو ٣٠٪، وإما على هيئة قشور أو قضبان. وهي تستعمل في صناعة الصابون والجلوسرين وفي صنع المنظفات الصناعية، وفي كثير من الصناعات الأخرى مثل صناعات الدواء والأصباغ والبتروكيمياويات وغيرها.

### كربونات الصوديوم

توجد كربونات الصوديوم طبيعياً في البحيرات الجافة في جمهورية مصر العربية في وادي النطرون، ولذلك عرفت باسم النطرون، كما توجد في بعض مناطق شرق أفريقيا وفي بعض الأماكن الأخرى.

وكربونات الصوديوم الموجودة طبيعياً توجد على هيئة «مسكس كربونات» وهي خليط من الكربونات والبيكربونات التي تحتوي على جزيئين من ماء التبلور،

وصيغتها الكيميائية  $[Na_2 CO_3 \cdot Na H CO_3 \cdot 2H_2 O]$ . أما الكربونات التي تحتوي جزيئاتها على عشرة جزيئات من ماء التبلور فتعرف باسم صودا الغسيل «Washing Soda»، وصيغتها الكيميائية  $[Na_2 CO_3 \cdot 10 H_2 O]$ .

وكانت الكربونات تخضر قديما من رماد بعض النباتات البحرية، بعد إحراقها واستخلاصها بقليل من الماء، وكان المحلول الناتج يستخدم في الغسيل وغير ذلك من الأغراض.

وقد حضرت كربونات الصوديوم فيما بعد بطريقتين عرفت أولاهما بطريقة «لوبلان» وعرفت الثانية باسم طريقة «سولفاى»، وهى الطرق التي استخدمت لإنتاجها على النطاق الصناعى.

### طريقة لوبلان Le blanc Process:

ابتكرت هذه الطريقة فى فرنسا عند انقطاع ما كان يرد إليها من كربونات الصوديوم بسبب بعض الحروب التي قامت فى أعقاب قيام الثورة الفرنسية. وقد نسبت هذه الطريقة إلى مبتكرها، وهى تتضمن خطوتين تعرف الخطوة الأولى منهما باسم خطوة تكوين «كمكة الملح»، وتعرف الخطوة الثانية باسم خطوة «الرماد الأسود».

### خطوة كمكة الملح Salt Cake:

تتضمن هذه الخطوة تسخين نحو ٨٠٠ كيلوجرام من كلوريد الصوديوم مع نحو ٨٥٠ كيلوجراما من حمض الكبريتيك المركز والذي تصل كثافته إلى نحو ١,٤٢، وذلك فى أوعية من الحديد.

ويتم التفاعل على خطوتين، فيتفاعل الملح مع الحمض أولا لتكوين كبريتات الصوديوم الهيدروجينية، مع تصاعد قدر كبير من غاز كلوريد الهيدروجين الذى يستعمل فى تحضير حمض الهيدروكلوريك بعد إذابته فى الماء.



كلوريد الهيدروجين  
كبريتات الصوديوم  
الهيدروجينية

وتبدو كبريتات الصوديوم الهيدروجينية والمحتوية على بعض الملح على هيئة كعكة متماسكة، ولهذا سميت باسم كعكة الملح، وهي تنقل بعد ذلك إلى فرن خاص وتسخن إلى درجة حرارة أعلى لضمان تفاعل كبريتات الصوديوم الهيدروجينية مع الزيادة من الملح وتكوين كعكة متماسكة من كبريتات الصوديوم. وينطلق في هذه الخطوة قدر آخر من كلوريد الهيدروجين يستغل كذلك في تكوين مزيد من حمض الهيدروكلوريك.



وتنتهى العملية عند تكوين كبريتات الصوديوم التى تعامل بعد ذلك فى الخطوة التالية وهى خطوة الرماد الأسود.

#### خطوة الرماد الأسود : Black Ash Process

تعامل كعكة الملح المتكونة فى الخطوة الأولى بخليط من الحجر الجيري ومسحوق الفحم، ثم يسخن خليط التفاعل إلى درجة عالية تصل إلى نحو ١٠٠٠° سلزيوس.

ويتم تسخين الخليط فى فرن عاكس، تنعكس فيه الغازات الساخنة من سقف الفرن وتلفح خليط التفاعل الموضوع على أرضية الفرن.

وقد استعمل بعد ذلك فرن دوار مثل فرن تكليس الأسمنت، وهو يتكون من أسطوانة قطرها نحو ٤ أمتار، وطولها نحو ٨ أمتار، وتسخن الشحنة الموضوع بها بواسطة الغازات الساخنة الناتجة من حرق الوقود فى فرن آخر، ويتم قلب الشحنة عند دوران هذه الأسطوانة حول محورها.

وتحدث فى هذه الخطوة عدة تغيرات، فستفاعل كبريتات الصوديوم مع مسحوق الفحم عند درجة حرارة الفرن العالية، وتختزل إلى كبريتيد الصوديوم.



كبريتيد الصوديوم



ثم يتفاعل كبريتيد الصوديوم الناتج مع الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) مكونا كربونات الصوديوم وكبريتيد الكالسيوم.



وتعتبر هذه الخطوة متبوية عندما يظهر بعض اللهب الأصفر عند سطح الكتلة المتفاعلة، وذلك نتيجة لتكون غاز أول أكسيد الكربون الناتج من تفاعل كربونات الكالسيوم مع الفحم.



ويشتعل غاز أول أكسيد الكربون الناتج بلهب أصفر نتيجة لاختلاطه ببعض أملاح الصوديوم المتطايرة والتي تعطى اللهب لونا أصفر.

وتتلون الكتلة الناتجة بلون أسود نتيجة لوجود مسحوق الفحم بها، وهي تحتوى على نحو ٣٥ - ٤٥٪ من وزنها من كربونات الصوديوم، كما تحتوى على نحو ٣٠٪ من كبريتيد الكالسيوم، ونحو ١٥٪ من أكسيد الكالسيوم وكربونات الكالسيوم، ونحو ٢٪ من كل من كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم، وبعض مسحوق الفحم والشوائب الأخرى.

ويتم غسل هذه الكتلة بقليل من الماء بعد تقليبها جيدا لاستخلاص ما بها من كربونات الصوديوم، أما كبريتيد الكالسيوم الذى تصل نسبته إلى نحو ٣٠٪ من وزن المادة الناتجة فيستعمل فى تحضير بعض مركبات الكبريت الهامة الأخرى.

ويحتوى محلول الغسيل الناتج على نحو ٢٥٪ من كربونات الصوديوم، كما يحتوى على قدر صغير من هيدروكسيد الصوديوم الناتج من احتواء الحجر الجيري على بعض هيدروكسيد الكالسيوم، وكان هذا الهيدروكسيد يحول إلى كربونات الصوديوم برش المحلول على هيئة رذاذ من قمة برج خاص يمتلئ ببعض الأحجار وتتصاعد من قاعه الغازات الناتجة من حرق الوقود، والتي تحتوى على غاز ثانى أكسيد الكربون.

ويبخر المحلول الناتج بعد ذلك حتى درجة الجفاف تقريبا، ويعرف الناتج فى هذه الحالة باسم «الملح الأسود» «Black Salt» وهو يتكون أساسا من كربونات

الصوديوم أحادية الهدرات [Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>. H<sub>2</sub>O] مختلطة ببعض الفحم وبعض الرماد والشوائب الأخرى.

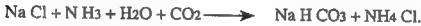
وقد درجت العادة على تحميل هذه المادة في فرن عاكس حتى يتم التخلص من أغلب هذه الشوائب التي تتطاير مع الغازات الساخنة وما يتبقى بعد ذلك من كربونات الصوديوم يكون على هيئة الكربونات اللامائية، ولذلك عرفت باسم «رماد الصودا» «Soda Ash»، وهي تحتوى على قليل من كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم.

ومن مساوئ طريقة لوبلان أنها تستخدم كلوريد الصوديوم الصلب، بالإضافة إلى أنها تستخدم قدرا كبيرا من حمض الكبريتيك الذي يفقد في أثناء العملية ويتحول إلى كبريتيد الكالسيوم.

#### طريقة سولفاى Solvay Process :

ابتكر هذه الطريقة كيميائى بلجيكى يدعى «سولفاى»، وسجلها كطريقة صناعية لتحضير كربونات الصوديوم عام ١٨٣٨، ولكنها لم تستخدم صناعيا إلا بعد ذلك بنحو أكثر من ٢٥ عاما، وعلى التحديد عام ١٨٦٥.

وقد عرفت هذه الطريقة أيضا باسم طريقة «الصودا والأمونيا»، وهي تعتمد على أنه عند إمرار غاز ثانى أكسيد الكربون فى محلول كلوريد الصوديوم المشبع بغاز النشادر، يتكون مركبان هما كلوريد الأمونيوم وبيكربونات الصوديوم.



ونظرا لأن بيكربونات الصوديوم شحيحة الذوبان فى الماء، فإنها تنفصل من المحلول على هيئة راسب متبلور، يمكن ترشيحه، ثم غسله بقليل من الماء، وتجفيفه.

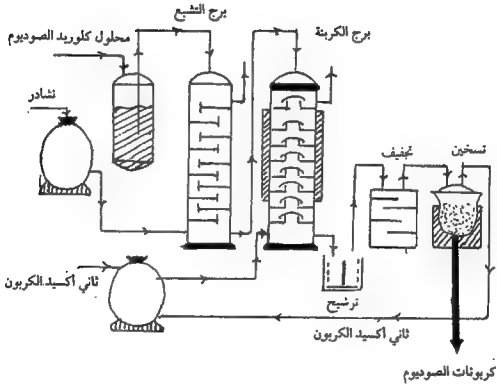
وتسخن بعد ذلك بيكربونات الصوديوم الجافة فتفقد ثانى أكسيد الكربون وتتحوّل إلى كربونات الصوديوم.



وتتلخص الطريقة الصناعية فى الخطوات التالية :

### أولاً : التشيع :

ويتم فيها تشيع محلول الملح بغاز النشادر، وتتم هذه الخطوة فى برج خاص به عدد كبير من الأرفف والحواجز الداخلية. ويدخل محلول الملح من قمة البرج على هيئة رذاذ، على حين يدخل من الجزء الأسفل للبرج تيار من غاز النشادر ليقابل رذاذ الملح.



طريقة سولفاى لتحضير كربونات الصوديوم

## ثانيا : الكربنة Carbonation :

تتم هذه العملية فى برج آخر به عدد كبير من الأرفف، ويحتوى كل رف على فتحات بها ثقب ضيقة إلى حد ما، مهمتها تحويل غاز ثانى أكسيد الكربون إلى فقائىم كى يتشرب فى محلول الملح.

ويدخل محلول الملح المشبع بالنشادر من قمة هذا البرج ليقابل تياراً من غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يدفع من الجزء الأسفل من البرج، ويتحول إلى فقائىم تتشرب فى المحلول، فتتكون أولا كربونات الامونيوم التى تتفاعل مع كلوريد الصوديوم (الملح) فى وجود مزيد من غاز ثانى أكسيد الكربون لتكون بيكربونات الصوديوم  $[NaHCO_3]$ .

وهذه التفاعلات تفاعلات طاردة للحرارة، وهى تؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة المحاليل الموجودة بالبرج، ولهذا يوجد فى كل قطاع من البرج ملف تبريد يمتص حرارة التفاعل بانتظام مع الاحتفاظ بدرجة الحرارة فى داخل البرج بين ٣٠ - ٤٠ سيلزيوس.

وبعد انتهاء التفاعل تخفض درجة حرارة المحلول فى داخل البرج إلى نحو ١٥ سيلزيوس لضمان ترسب أكبر قدر من بيكربونات الصوديوم من المحلول.

## ثالثا : الترشيح :

يؤدى ترسب البيكربونات من المحلول إلى تحوله إلى شبه عجينة، ويسحب ناتج الكربنة بمضخة خاصة ويرشح على مرشحات تعمل بالضغط المخلخل، ثم تغسل البيكربونات الناتجة بقليل من الماء للتخلص من بقايا المحلول الأم وتجفف بعد ذلك فى أفران خاصة.

## رابعا : التسخين :

تنقل بيكربونات الصوديوم الجافة إلى أوعية من الحديد لتسخينها، ويؤدى ذلك إلى تفكك البيكربونات، وتحولها إلى كربونات الصوديوم مع تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون. ويحتوى ناتج طريقة سولفاى على ٩٨ - ٩٩% من كربونات الصوديوم اللامائية.

وتعتمد اقتصاديات هذه الطريقة على استرجاع النشادر من محلول كلوريد الأمونيوم بواسطة أكسيد الكالسيوم، وكذلك على استرجاع غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من تسخين اليكربونات، وإذا تم ذلك وأعيد استخدام كل منهما، فإن هذه الطريقة لن تكلف كثيراً، بالإضافة إلى أن محلول الملح يمكن استخدامه مباشرة في هذه الطريقة دون الحاجة إلى استخدام الملح الصلب.

### النشادر

للنشادر أهمية خاصة في كثير من المجالات، فهي قد تستعمل في عمليات التبريد، كما أنها تستعمل كقاعدة عند ذوبانها في الماء مكونة هيدروكسيد الأمونيوم الذي يستخدم في كثير من الأغراض، بالإضافة إلى أنها تستخدم في تحضير حمض الترريك عند أكسدتها، كما تستعمل بعض أملاحها في صناعة المفرقات وبعض المخصبات الزراعية، وتدخل كذلك في كثير من الصناعات الكيميائية الهامة مثل صناعة الألياف الصناعية وغيرها.

وتحضر النشادر بعدة طرق، منها طرق لم تعد تستخدم الآن ولها أهمية عملية فقط، ومنها طرق ما زالت تستخدم لإنتاج كميات كبيرة من غاز النشادر وأملاحها، ويمكن تلخيصها فيما يلي :

#### من كلوريد الأمونيوم :

يعد كلوريد الأمونيوم واحداً من أهم أملاح النشادر، وقد عرف منذ زمن طويل باسم ملح النشادر «Sal Ammoniac»، واستخدم في تحضير النشادر بتسخينه مع أكسيد الكالسيوم، حيث يتكون كلوريد الكالسيوم ويتصاعد غاز النشادر الذي يذاب في الماء مكوناً محلول النشادر المعروف باسم هيدروكسيد الأمونيوم.

وقد كانت هذه الطريقة هي أولى الطرق التي استخدمت لتحضير غاز النشادر، وقد تم جمع هذا الغاز لأول مرة بواسطة العالم الإنجليزي «بريستلي» Priestly عام ١٧٧٧، وأطلق عليه العالم الألماني «برجمان» Bergman اسم الأمونيا عام ١٧٨٢.

وهذه الطريقة لها أهمية معملية فقط، وهى لا تستخدم لتحضير النشادر صناعيا الآن.

### من السائل النشادرى :

عند تسخين بعض المواد العضوية مثل الخشب أو الفحم فى معزل عن الهواء تتصاعد منها بعض أبخرة المواد المتطايرة لبعض الأحماض أو الكحولات أو المواد الأروماتية، وهى عملية تعرف باسم التقطير الإتلافى.

ونظرا لأن هذه المواد تحتوى فى تركيبها على النتروجين، فإن هذا العنصر يتصاعد منها فى هذه العملية على هيئة غاز النشادر الذى يكون ذائبا فى الماء على هيئة محلول يعرف باسم السائل النشادرى.

ويجمع هذا السائل النشادرى بعد فصله عن محتويات القطران، ثم يعاد تسخينه وتقطيره مع الجير لتفكيك أى ملح من أملاح النشادر التى قد توجد بهذا السائل النشادرى.

وعادة ما يمتص غاز النشادر الناتج من عملية التقطير فى حمض الكبريتيك لتكوين كبريتات النشادر التى تستخدم فى إخصاب التربة الزراعية وزيادة محتوياتها من النتروجين.

ويمكن إنتاج النشادر على هيئة غاز مرة أخرى فى حالة نقية بتسخين كبريتات الامونيوم (كبريتات النشادر) مع أكسيد الكالسيوم، ثم جمع الغاز فوق الزئبق أو تبريده وضغطه ليتحول إلى سائل.

وهذه الطريقة لا تستخدم الآن إلا بشكل محدود.

### من الهيدروجين والنتروجين :

يمكن تحضير غاز النشادر بالاتحاد المباشر بين غاز الهيدروجين ونتروجين الهواء.

ويحضر غاز الهيدروجين إما بتفاعل بعض الفلزات مع الماء مثل الصوديوم أو الزنك أو الماغنسيوم، وإما بتفاعل السليكون مع محلول هيدروكسيد الصوديوم، أو بالتحليل الكهربائى لمحلول هيدروكسيد الباريوم.

وتنتج كميات كبيرة من غاز الهيدروجين فى عملية التحليل الكهربائى لمحلول كلوريد الصوديوم عند تحضير هيدروكسيد الصوديوم.

كذلك يحضر غاز التروجين بإسالة الهواء الجوى ثم تركه ليتبخر داخل عدة ملفات، وهى عملية تشبه عملية التقطير التجزيئى للسوائل، ويغلى غاز التروجين عند - ١٩٦ سيلزيوس متحولاً إلى غاز.

ويمكن الحصول على قدر كبير من غازى التروجين والهيدروجين بتفاعل فحم الكوك مع الهواء والبخار، ويتم فيها التفاعل بين الفحم وأكسجين الهواء مكوناً أول أكسيد الكربون.



كما يتفاعل الكربون مع بخار الماء ليعطى خليطاً من أول أكسيد الكربون وغاز الهيدروجين وهو ما يعرف بغاز الماء.



ويتكون قدر آخر من غاز الهيدروجين عند تفاعل أول أكسيد الكربون الناتج فى كل من التفاعل الأول والتفاعل الثانى مع بخار الماء.



ويمكن امتصاص غاز ثانى أكسيد الكربون فى الماء، وكذلك امتصاص الزيادة من غاز أول أكسيد الكربون فى محلول كلوريد النحاسوز النشادرى، وبذلك لا يتبقى إلا غاز الهيدروجين، ومعه التروجين الموجود أصلاً بالهواء الجوى المستخدم فى هذه العملية.

ويمكن بعد ذلك تعديل نسب كل من غازى الهيدروجين والتروجين فى الخليط بما يناسب النسب المطلوبة لتكوين النشادر.

ولا يتفاعل غاز الهيدروجين مع غاز التروجين عند درجة حرارة الغرفة وتحت الضغط الجوى المعتاد.

وقد كان العالم الإنجليزي «بريستلى» أول من لاحظ أن النشادر تتفكك إلى هيدروجين ونيتروجين عند إمرار تيار كهربائى فيها وهى على هيئة غاز، وقد اتضح فيما بعد أن هذا التفكك ليس تفككا كاملا، بل يبقى هناك قدر من غاز النشادر كما هو.

وقد أمكن بعد ذلك - فى عام ١٨٦٥ - عكس هذه العملية بإمرار تيار كهربائى أو شرارة كهربائية فى خليط من غازى الهيدروجين والنيتروجين لتكوين بعض النشادر.

وقد تبين فيما بعد أن تفاعل الهيدروجين مع غاز النيتروجين تفاعل طارد للحرارة، أى يتم بانطلاق قدر كبير من الحرارة.



ويتضح من ذلك أن النشادر المتكونة فى التفاعل سوف تتفكك إلى عناصرها عند ارتفاع درجة الحرارة، أى أن التفاعل السابق سوف يسرى فى الاتجاه المعاكس ناحية اليسار.

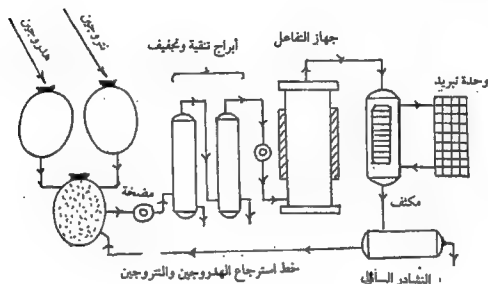
وحيث إن تفكك النشادر لا يكون كاملا، فإن قدرا صغيرا منها سيبقى فى حالة اتزان مع كل من الهيدروجين والنيتروجين، ويصل هذا القدر إلى نحو ٢٥ ٪ عند حرارة ٤٥٠° سيزيوس، وتحت الضغط الجوى المعتاد، ويقل هذا المقدار كثيرا عند رفع درجة الحرارة أكثر من ذلك، فيصل إلى نحو ١ ٪ أى ٠,٠٥ عند رفع درجة الحرارة إلى ٦٠٠° سيزيوس تحت الضغط الجوى المعتاد.

ويتضح من ذلك أن تكوين غاز النشادر تكتنفه بعض الصعوبات، ولا بد من إجراء التفاعل بين غازى الهيدروجين والنيتروجين تحت ضغط مرتفع للحصول على نسبة معقولة من النشادر، ورغم أن التفاعل طارد للحرارة إلا أن هذين الغازين لا يتفاعلا إلا بعد تسخينهما للدرجة معقولة.

وقد تبين أن أفضل نسبة من النشادر يمكن الحصول عليها فى حدود مقبولة من الضغط والحرارة هى ٢٥ ٪، وذلك عند إجراء التفاعل بين غازى الهيدروجين والنيتروجين عند ٤٥٠° سيزيوس وتحت ضغط ٢٠٠ جو.



ولكن تبين أن سرعة التفاعل عند ٤٥٠° سليزيوس بطيئة إلى حد ما، ولهذا ترفع درجة الحرارة إلى نحو ٥٥٠° سليزيوس تحت ضغط ٢٠٠ جو للحصول على سرعة أكبر للتفاعل رغم أن نسبة النشادر المتكونة من خليط الغازين لا تزيد في هذه الحالة على ١٢٪، ويمكن الحصول على نحو ٤٠٪ من النشادر وعند رفع الضغط إلى ١٠٠٠ جو ولكن رفع الضغط إلى هذا الحد عملية مكلفة جدا وتؤدي إلى رفع سعر النشادر المتكونة.



تحضير النشادر بطريقة هابر

وتعرف هذه الطريقة باسم طريقة «هابر» «Haber» نسبة إلى مبتكرها وهو كيميائي ألماني.

ونظرا لأن كمية النشادر المتكونة بهذه الطريقة تحت الظروف السابقة لا تزيد على ١٢٪، فإن خليط التفاعل يحتوى على قدر كبير من غازى الهيدروجين والنيتروجين اللذين لم يدخلوا في التفاعل، ولهذا يمرر خليط التفاعل في نهاية العملية في مكثف خاص يحول غاز النشادر إلى سائل عند ٣٣° سليزيوس، ويجمع هذا السائل في مستقبل خاص، أما الغازات غير المتفاعلة فتعاد مرة أخرى إلى وعاء الغازات لإعادة استخدامها من جديد مما يحقق وفرا في تكاليف هذه العملية.

ويحتاج التفاعل بين الهيدروجين والتروجين - كما سبق أن بينا - إلى رفع درجة الحرارة وزيادة الضغط، ولكن التفاعل يسرى بسرعة أكبر في وجود حافز للتفاعل.

والحافز المستخدم عادة هو فلز الحديد، ولكن يجب أن يكون الفلز نقيًا وخاليا من الكبريت الذي يفسد عمل الحافز. كذلك يتم تنشيطه عادة بإضافة بعض أكسيد الألومنيوم وأكسيد البوتاسيوم.

### المخصبات الزراعية المصنعة من النشادر :

تعد النشادر مادة أساسية في تحضير المخصبات التروجينية التي تثرى التربة الزراعية بالتروجين الذي تحتاج إليه النباتات كي تنمو نموا طبيعيا.

#### ١ - نترات الأمونيوم :

أهم أملاح النشادر المستخدمة في هذا الغرض هي نترات الأمونيوم وهي تحضر بامتصاص غاز النشادر في حمض النتريك، ثم تركيز المحلول الناتج تحت ضغط مخلخل حتى يصل تركيزه إلى نحو ٩٩٪ من نترات الأمونيوم التي تكون في هذه الحالة على هيئة مصهور يضغط من فتحة في قمة برج خاص يصل ارتفاعه إلى نحو ٦٠ مترا ليقابل تيارا من الهواء البارد صاعدا من قاع البرج، فتتجمد نترات الأمونيوم على هيئة حبيبات أو ما يشبه الحرز.

وتحتوى نترات الأمونيوم على ٣٥٪ بالوزن من التروجين، ونظرا لأن هذه المادة قابلة للانفجار، فتتخذ دائما احتياطات عند نقلها وعند تخزينها، وأيضا عند استخدامها.

ولتجنب مخاطر الانفجار، يخلط عادة محلول نترات الأمونيوم بقليل من كربونات الكالسيوم قبل تركيز المحلول، وتعرف المادة الناتجة باسم نترات الأمونيوم الجيرية، أو «السماد الجيرى»، وتنخفض نسبة التروجين في هذا النوع من السماد الجيرى إلى نحو ٢٠ - ٢٨٪، تبعا لكمية كربونات الكالسيوم التي أضيفت إلى النترات، ولكنه سماد آمن ولا يقبل الانفجار.

## ٢ - كبريتات الأمونيوم :

تحضر كبريتات النشادر أو كبريتات الأمونيوم بمعادلة محلول النشادر المحتوى على ١٨ - ٢٦٪ نشادر بحمض الكبريتيك، ثم تركيز المحلول الناتج بتبخيره تحت ضغط مخجل.

وتنفصل كبريتات الأمونيوم من المحلول المركز السابق على هيئة بلورات لا لون لها، تفصل بواسطة الطرد المركزي، وهي تحتوي على نحو ٢١٪ بالوزن من الشروجين.

وتكون كميات أخرى لا بأس بها من كبريتات الأمونيوم كنتاج ثانوى فى بعض العمليات الصناعية، فينتج بعضها من معادلة السائل النشادرى الناتج من التقطير الإتلافى للفحم، بواسطة حمض الكبريتيك، كما ينتج بعضها الآخر فى أثناء إنتاج مادة «الكابرولاكتام» المستخدمة فى إنتاج أنواع من النايلون.

## ٣ - اليوريا :

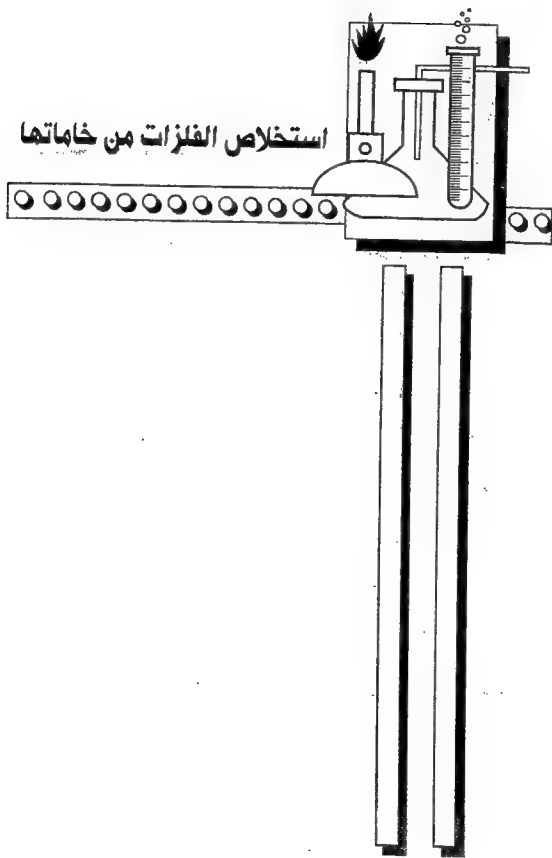
نتج اليوريا صناعيا بتفاعل غاز النشادر مع غاز ثانى أكسيد الكربون، ويضغط كل من هذين الغازين على حدة حتى يتحول كل منهما إلى سائل، ثم يدفع خليط منهما يتكون من ٢,٣ جزءا من النشادر إلى جزء واحد من ثانى أكسيد الكربون، فى أوتوكلاف ساخن عند درجة حرارة ١٩٠°سليزوس وتحت ضغط ٢٠٠ جو، فيتفاعل الغازان معا لتكوين مركب يعرف باسم «كربامات النشادر» الذى يتحول بعد ذلك إلى اليوريا.



ويركز محلول اليوريا تحت ضغط مخجل إلى نحو ٩٩,٧٪ يوريا، ثم يضغط المصهور الناتج من قمة برج خاص على هيئة رذاذ ليقابل تيارا من الهواء البارد صاعدا من قاع البرج، كما فى حالة نترات الأمونيوم، فتتحول اليوريا إلى حبيبات صغيرة تشبه الحرز.

وقد احتلت اليوريا منذ عام ١٩٥٠ موقعا خاصا بين المخصبات النتروجينية لاحتوائها على نسبة عالية من النتروجين تصل إلى نحو ٤٦٪، وبذلك يمكن إثراء التربة الزراعية بالنتروجين باستخدام كميات قليلة من المادة المخصبة للتربة.

استخلاص الفلزات من خاماتها





## استخلاص الفلزات من خاماتها



يمكن القول بأن الطرق المستخدمة في وقتنا الحاضر ليست كلها طرقاً جديدة، فعملية استخلاص بعض الفلزات من خاماتها بصهرها وحدها أو مع مواد أخرى عرفت منذ زمن بعيد، وذلك في العصور القديمة التي استخدم فيها الإنسان بعض هذه الفلزات في تحضير بعض أدواته والوفاء ببعض احتياجاته.

وقد عرف المصريون القدماء طرقاً لاستخلاص الحديد والنحاس والذهب، وعرف الرومان استخلاص الرصاص، وصنعوا منه أنابيب لنقل المياه... كذلك عرفت بعض الحضارات الشرقية صناعة الصلب من الحديد، ومنها سوريا التي صنعت سيوفاً من الصلب اشتهرت بقوتها ومتانتها منذ نحو ٥٠٠ عام.

وفي منتصف القرن السادس عشر ظهر أول مؤلف يتعلق بتحضير الفلزات، نشره رجل الماني يدعى «جرجيوس أجريكولا» «Georgius Agricola» تحت اسم له معنى شامل هو «ما يتعلق بالفلزات» «De Re Metallica»، وصف فيه عمليات التعدين اللازمة لاستخراج الخامات من باطن الأرض، ووصف كذلك بعض طرق الصهر المستخدمة لاستخلاص الفلز من خاماته، ولكن بعض هذه الطرق يعتبر اليوم بدائياً بالنسبة للطرق المستخدمة اليوم.

وتتضمن الطرق المستخدمة اليوم لاستخلاص الفلزات من خاماتها عمليات متعددة، بعضها عمليات فيزيائية، وبعضها الآخر عمليات كيميائية، فهذه الخامات يجب أن تخضع أولا لبعض عمليات التنقية والتركيز، وهي العمليات التي تعرف باسم تجهيز الخامات، قبل أن تصهر لاستخلاص ما بها من فلزات.

### تجهيز الخامات :

يغلب أن تكون خامات الفلزات مختلطة بكثير من الشوائب، مثل الأتربة والرمال وبعض فئات الصخور، ولا يمكن إدخالها في عمليات الصهر وهي بهذا الشكل لأن نسبة الفلز الموجود بها قد تكون أقل مما يجب، وتصبح بذلك عملية الاستخلاص غير اقتصادية وعالية التكاليف.

ويترتب على ذلك أن مثل هذه الخامات يجب أن تخضع أولا لبعض عمليات التجهيز التي تتضمن تنقيتها. من أغلب ما بها من شوائب، ورفع نسبة ما بها من فلز، أي تركيزها، حتى يكون استخلاصها اقتصاديا ومربحا.

ونظرا لضخامة حجم هذه الخامات، فإن الطرق المستخدمة في تجهيزها تختلف كثيرا عن الطرق المستخدمة في المعامل الكيميائية التي تتناول كميات صغيرة من المواد، ولكننا في هذه الحالة نتعامل مع مئات وأحيانا مع آلاف الأطنان من الخامات.

وتبدأ عملية التجهيز بفصل الشوائب التي لا قيمة لها، عن الخامة نفسها، وقد تتم هذه العملية بطرق ميكانيكية في بعض الأحيان عندما تكون الشوائب مختلفة في مظهرها عن الخامة نفسها.

والهدف من هذه العملية هو توفير الجهد والتكاليف المطلوبة لنقل هذه الشوائب والتي قد يصل حجمها إلى مئات الأطنان، وأيضا توفير جزء كبير من التكاليف اللازمة لصهر الخامة.

وعادة ما توجد الخامة بعد استخراجها على هيئة كتل متفاوتة الأحجام، فمنها ما قد يوجد على هيئة فئات، ومنها ما يوجد على هيئة كتل كبيرة من الصخور، ولا يمكن استخدام الخامة بهذا الشكل، ولهذا تعرض الخامة إلى عملية تكسير لتحويلها إلى كتل تكاد تكون متساوية في حجمها.

وتستخدم في هذه العملية معدات مختلفة مثل الكسارة ذات الفكين «Jaw Crusher» أو كسارة القمع «Cone Crusher» وغيرها.



ويلى عملية التكسير عملية «الغريلة»، ويتم فيها فصل الخامة إلى أجزاء مختلفة، بحيث يحتوى كل جزء منها على كتل متساوية فى الحجم على وجه التقريب، ويستعمل فى هذه العملية معدات مختلفة مثل الشبكة الهزازة «Vibrating Screen» وغيرها:

ويتم طحن أجزاء الخامة التى تتكون من حبيبات دقيقة فى طواحين خاصة بها كريات من الصلب، وتدور حول محورها بسرعة محدودة، وتعرف هذه الطواحين باسم «طواحين الكريات» «Ball Mills»، ثم يتم بعد ذلك فصل الشوائب عن الخامة بطريقة «التركيز بالتناقل» «Gravity Concentration».

ويستخدم فى هذه الطريقة سائل مثل الماء، وعندما يضاف إليه مسحوق الخامة، تهبط الحبيبات الثقيلة إلى قاع الإناء على حين تطفو الحبيبات الخفيفة التى تتكون من الشوائب على سطح الماء وتخرج مع تيار الماء، وبذلك يتم فصلها عن حبيبات الخامة التى ترسب على القاع.

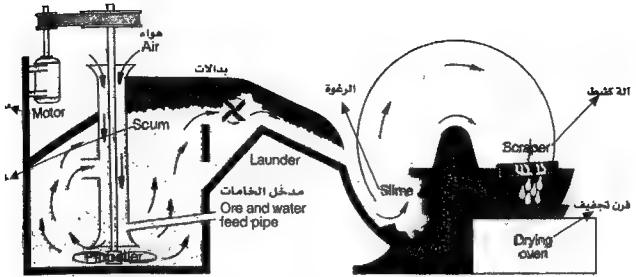
وتستخدم هذه الطريقة مع الخامات التى تتكون من الكبريتيدات، وتجمع الرواسب التى تتكون من الخامة، وتجفف، ثم ترسل إلى مصنع الصهر.

ومن الممكن الاستغناء عن التركيز بالتناقل باستخدام طريقة الطفو أو «التصويل» «Floatation»، ويستخدم فيها الماء ومادة زيتية وبعض المواد الكيميائية الأخرى.

وتتم هذه الطريقة فى جهاز خاص، وعند تقليب خليط السوائل تتكون رغوة على سطح هذه السوائل تتعلق بها حبيبات الخامة مكونة ما يشبه الخبث. ويدفع هذا الخبث بما يشبه المجذاف إلى وعاء آخر تدور به عجلة كبيرة وهى فى وضع راسى حول محورها.

ويتعلق الخبث بسطح هذه العجلة ويدور معها، وفى نهاية دورتها تقابل عارضة من الصلب تساعد على كشط هذا الخبث الذى يتكون من حبيبات الخامة، وتلقى به إلى فرن خاص لتجفيفه، ثم يرسل بعد ذلك إلى مصنع الصهر.

وهناك طرق أخرى يستخدم فيها المجال الكهربائى «Electrostatic» أو يستخدم فيها الإلغام أو محلول السيانيد كما فى حالة الخبث وسيرد ذكرها فيما بعد.



### تركيز الخامات بطريقة التصفيل

#### استخلاص الفلزات من الخامات :

تعتمد الطريقة المستخدمة في استخلاص الفلز من خاماته الطبيعية على نوع هذه الخامة، وستتناول هنا بعض الطرق المستخدمة فعلا في تحضير بعض الفلزات ذات الأهمية الخاصة في الصناعة، والتي يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ - طرق يستخلص فيها الفلز من خاماته بواسطة الاختزال بالفحم مثل فحم الكوك أو الإنتراسيت الخالي من المواد المتطايرة، وفي هذه الحالة تكون الخامة الرئيسية للفلز على هيئة أكسيد، ومن أمثلة هذه الفلزات، الحديد والصلب والزنك والقصدير .

٢ - طرق يستخدم فيها تحميلص الخامة عند درجة حرارة عالية في وجود الهواء، وهذه الطرق تستخدم عادة عندما تكون الخامة الطبيعية للفلز على هيئة كبريتيد، ومن أمثلة هذه الفلزات النحاس والرصاص .

٣ - طرق تستخدم فيها عمليات التحليل الكهربائي لبعض أملاح الفلزات، ومن أمثلة هذه الفلزات الألومنيوم والمغنسيوم .

٤ - طرق أخرى تعتمد على الإلغام أو الكلورة وغيرها، مثل الطرق المستخدمة في استخلاص الذهب .

## استخلاص الفلزات من خاماتها بالاختزال بالفحم

### الحديد

الحديد فلز لامع أشهب اللون، عدده الذرى ٢٦، ووزنه الذرى ٥٥,٨٤٧، ووزنه النوعى ٧,٨٦، وهو ينصهر عند ١٥٣٥ ملزيوس، ويغلى فى القرن الكهربائى عند ٣٠٠٠ ملزيوس.

ويعد الحديد رابع العناصر انتشارا فى قشرة الأرض، حيث تصل نسبته فيها إلى ما يزيد قليلا على ٤٪، ويسبقه فى ذلك الأكسجين (٥٠٪)، والسليكون (٢٦٪)، والألومنيوم (٧٪).

وقد عرف الحديد منذ زمن بعيد، ويبدو أن اكتشافه جاء مصادفة عندما كان الناس يستخدمون الأحجار والأخشاب فى إشعال النيران لطهو طعامهم، وعندما احترقت الأخشاب وتحولت إلى فحم، قام الفحم باختزال بعض أكاسيد الحديد الموجودة بهذه الأحجار، وسال منها فلز لامع لفت الأنظار، وجعلهم يعيدون هذه التجربة مرة بعد أخرى.

ومازالت هذه الطريقة التى تعتمد على اختزال أكاسيد الحديد بواسطة الفحم هى الطريقة المستخدمة حتى اليوم، وإن اختلفت فى بعض تفاصيلها.

ولا يوجد الحديد حرا فى الطبيعة فى المعتاد، ولكنه يوجد على هيئة بعض المركبات، أهمها الأكاسيد والكربونات والكبريتيدات، وتوجد خامات الحديد مختلطة بالطفل والسليكا فى كثير من البلدان كما فى الولايات المتحدة وفى البرازيل وفنزويلا وفى مناجم أوربا فى الألزاس واللورين، وفى إسبانيا والسويد وفى الاتحاد السوفيتى السابق والهند والصين، وفى مصر وجنوب أفريقيا وغيرها، وهكذا تنتشر خامات الحديد فى كل بقاع الأرض على وجه التقريب.

وأهم خامات الحديد هي الأكاسيد مثل «الهيماتيت» أحمر اللون وهو أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$ ، ويحتوى على نحو ٧٠٪ من الحديد، و«الليمونيت» الأصفر، وهو أكسيد الحديد المهدرت ويحتوى على نحو ٦٠٪ من الحديد، وكذلك «الماجنتيت» أسود اللون  $Fe_3O_4$ ، ويحتوى على نحو ٧٢٪ من الحديد.

كذلك يوجد الحديد على هيئة الكربونات  $FeCO_3$  فى معدن «السدرت» وعلى هيئة الكبريتيد  $FeS_2$  الذى يعرف باسم «بايريت الحديد»، ولكن هذا الأخير لا يعد من الخامات الرئيسية للحديد بسبب احتوائه على قدر كبير من الكبريت الذى يصعب التخلص منه، ولهذا فهو يستخدم غالبا مصدرا للكبريت فى بعض الصناعات الأخرى مثل صناعة حمض الكبريتيك.

وعندما تكون خامة الحديد على سطح الأرض، تكشف من على سطح التربة بآلات ضخمة، وتنقل بواسطة اللوريات إلى مصانع الحديد والصلب، أما إذا كانت خامات الحديد فى باطن الأرض فتحفر لها مناجم خاصة لاستخراجها.

### استخلاص الحديد من خاماته :

يستخلص الحديد من خاماته المحتوية على الأكاسيد باختزاله بواسطة الفحم عند درجة حرارة عالية.



أكسيد الحديد

أول أكسيد الكربون حديد

وتتم عملية الاختزال فى فرن خاص عرف باسم «الفرن العالى»، وهو عبارة عن برج مرتفع من الصلب، يصل ارتفاعه أحيانا إلى أكثر من ثلاثين مترا، وهو واسع إلى حد ما فى منتصفه، ويضيق قليلا عند قمته وعند قاعدته، ويبطن جداره الداخلى بالطوب الحرارى.

ولا يستخدم الفحم الحجيرى العادى فى عملية الاختزال، ولكن يستخدم فيها فحم الكوك الذى تم تخليصه مما به من مواد مستطيرة مثل القطران والنشادر والغازات، وتصل نسبة الكربون فيه إلى نحو ٩٠٪.

كذلك يستخدم مع الفحم قدر محسوب من الحجر الجيرى الذى يعمل كمادة صهر «Flux» تساعد على صهر شوائب السليكا الموجودة بالخامة، وفصلها عن الحديد المنصهر. ويكسر الحجر الجيرى إلى قطع متساوية الحجم، ويغسل بالماء للتخلص مما به من طفل، ثم يجفف.

ويشحن الفرن العالى بأوزان محسوبة من كل من الحخامة وفحم الكوك والحجر الجيري، وتتم عملية الشحن بواسطة عربات خاصة تحملها سيور إلى قمة الفرن، وهى توضع حمولتها فى قادوس خاص مركب على قمة الفرن بطريقة لا تسمح بهروب الحرارة ولا الغازات من قمة الفرن.

وبعد شحن الفرن بالخليط السابق يدفع تيار من الهواء الساخن من فتحات خاصة فى قاع الفرن، وتصل درجة حرارة هذا الهواء إلى نحو ١١٠٠ سلزيوس كما تصل سرعته إلى نحو ٣٠٠ - ٤٠٠ كيلومتر فى الساعة، ولها يسمى هذا الفرن أحيانا باسم «الفرن اللافح» «Blast Furnace».

وبمجرد دخول الهواء الساخن يشتعل الفحم بشدة ويتأكسد جزئيا إلى أول أكسيد الكربون الذى يختزل أكسيد الحديد إلى فلز الحديد. وينصهر الحديد نتيجة للحرارة العالية، كما ينصهر الحجر الجيري مع الشوائب مكونا ما يعرف بالخبث، وينساب الحديد المنصهر إلى قاع الفرن مكونا طبقة سفلى تعملها طبقة أخرى من الخبث المنصهر، وهى أقل منها سمكا.

وتتسبب عملية الانصهار فى انخفاض حجم الشحنة الموجودة بوسط الفرن، ولذلك تضاف إلى الفرن كمية أخرى من الخليط السابق عن طريق القادوس المحكم الموجود بقمة الفرن.

ويعمل الفرن العالى بصفة مستمرة، ولا يتوقف أبدا إلا لإجراء عمرة أو بسبب عدم الحاجة إلى إنتاجه، وقد يعطى الفرن الواحد نحو ٢٧٠٠ طن حديد فى اليوم.

وهناك أفران حديثة يدفع فيها الوقود مثل الغاز الطبيعى أو الزيت مع بعض الفحم المجروش، كما يدفع تيار من الأكسجين بدلا من الهواء.

ويتضح مما سبق أن نواتج العملية تنقسم إلى ثلاثة أنواع، هى فلز الحديد وهو من أهم نواتج العملية، ثم الخبث، وأخيرا الغازات المتصاعدة من قمة الفرن، ولكل من هذه النواتج فائدة خاصة بها.

## أولاً : الحديد :

يتجمع الحديد المنصهر فى قاع الفرن اللافح، وهو يسحب كل ٤ - ٥ ساعات فى بواق ضخمة سعتها نحو ٣٥ - ٤٥ طنا، وقد تصل سعة بعضها إلى نحو ١٥٠ طنا، ويصب الحديد منها فى قوالب خاصة، ويصل وزن هذه الكتل إلى نحو ٢٠ - ٤٥ كيلوجراما. ويعرف هذا الحديد باسم حديد الزهر، ويسمى كذلك «Pig Iron».

ويحتوى الحديد الزهر على نسبة عالية من الكربون الذى امتصه من فحم الكوك فى أثناء عملية اختزال الخامات، وتصل نسبة الكربون فيه إلى نحو ٤٪ أو أكثر قليلا.

كذلك يحتوى حديد الزهر على بعض الشوائب الأخرى، فهو يحتوى على قدر من السليكون قد تصل نسبته فيه إلى نحو ٢٪، بالإضافة إلى احتوائه على كميات صغيرة أخرى من بعض العناصر مثل المنجنيز والفوسفور والكبريت.

ويتصف حديد الزهر بانخفاض درجة انصهاره نسبيا، ولهذا فهو يستعمل فى عمليات الصب والسبك التى يشكل فيها الحديد على هيئة بعض الأدوات والمعدات التى لا تتطلب حليداً عالى النقاوة، ولذلك يعرف أحيانا باسم حديد الصب «Cast Iron»، وتصنع منه بعض كتل السلندرات فى محركات السيارات وبعض البانيوهات وغيرها.

ويستعمل الحديد الزهر فى صنع نوع آخر من الحديد يعرف باسم الحديد المطاوع بعد إحراق ما به من شوائب، كما يحول إلى صلب كما سترى فيما بعد.

## ثانياً: الخبث Slag :

يتكون الخبث بالتآجد ما بخامة الحديد من طفل وسليكات مع الحجر الجيرى فى أثناء عملية الاختزال. وينصهر الخبث عند درجة حرارة الفرن العالية، ويكون طبقة تطفو على سطح الحديد المنصهر.

ويسحب الخبث من فتحة خاصة فى قاع الفرن اللافح كل مدة من الزمان، وهو يتكون أساسا من «ألومينو سليكات الكالسيوم»، ولكنه قد يحتوى أيضا على

قدر صغير من الحديد لا يزيد على ٥,٠٪ في أغلب الأحوال، وعادة ما يكون ما به من حديد على هيئة سليكات الحديدوز.

ويمتص الخبث المنصهر كبريتيد الكالسيوم، وللك فهو يعد عاملا مساعدا في عملية التخلّص من الكبريت الموجود بخامة الحديد. أما الفوسفور فهو لا يذوب في الخبث، ولكنه يتحول إلى فوسفيد الحديد  $Fe_3P$  الذي يبقى ذائبا في الحديد المنصهر.

وتستخدم بعض أنواع الخبث بعد تبريدها بالماء وطحنها إلى مسحوق ناعم في صنع أنواع من الأسمنت تعرف باسم «الأسمنت الحديدى»، وقد تخلط بعض أنواع الخبث بالقيار وتستخدم في رصف الطرق، وقد يحول بعضها إلى صوف للعزل أو يستعمل في صنع الجدران في عمليات البناء.

#### ثالثا : الغازات :

تتصاعد في أثناء عملية الاختزال في الفرن اللافيح عدة غازات تتكون من خليط من غازى أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون، وإن كانت نسبة أول أكسيد الكربون تزيد بنحو ثلاث مرات على ثانى أكسيد الكربون.

وتتصاعد هذه الغازات من قمة الفرن اللافيح لتسر في أنابيب تحملها إلى أبراج خاصة لامتصاص ما يعلق بها من غبار ورماد، ثم تدفع بعد ذلك إلى أبراج أخرى تعرف باسم «أفران كوير» «Cowper Ovens» حيث تخلط فيها بالهواء وتحرق، وتستخدم الحرارة الناتجة منها في تسخين تيار الهواء الداخلى فى قاع الفرن اللافيح، وذلك عن طريق مبادلات حرارية خاصة، ثم يتم التخلّص منها بعد ذلك عن طريق المداخن العالية.

ويوجد عادة برججان من أفران كوير يعملان بالتبادل لتسخين الهواء الذى يدفع فى قاع الفرن اللافيح. وتعتمد كفاءة الفرن اللافيح على درجة حرارة هذا الهواء، ويجب ألا تقل درجة حرارته عن ١١٠٠ سلسيزوس حتى لا يتسبب في تبريد شحنة الفرن، وضمانا لاستمرار عملية الاختزال والصهر.

ويضاف إلى ذلك أن كفاءة عمليات التبادل الحرارى في أفران كوير تساعد كثيرا على توفير كميات كبيرة من الوقود.

أما الغبار أو الرماد الذى يتصاعد مع الغازات الخارجة من قمة الفرن اللافيح فهو يتجمع فى مصيدة الغبار، وله أهمية خاصة، فهو يحتوى على كميات لا بأس بها من أملاح البوتاسيوم، وعادة ما يكون أغلبها على هيئة كلوريد البوتاسيوم.

وتعتمد نسبة هذه الأملاح على طبيعة الخامات المستخدمة فى الفرن اللافيح، ويمكن زيادة نسبة أملاح البوتاسيوم فى هذا الغبار، بإضافة قليل من كلوريد الصوديوم إلى خامات الحديد قبل صهرها، ويساعد ذلك على حدوث تبادل بين ذرات الصوديوم والبوتاسيوم، حيث تحل الأولى محل الثانية فى الأملاح الموجودة بالخامة فى أثناء عملية الاختزال والصهر.

وحتى لو لم يستخدم هذا الغبار مصدرا لأملاح البوتاسيوم، فإنه يجب جمعه فى مصيدة الغبار لتنظيف الغازات قبل دفعها فى مبادلات أفران كوبر.

### الحديد المطاوع Wrought Iron

يتسبب وجود الكربون بنسبة عالية فى الحديد فى زيادة صلابته وعدم قابليته للطرق والسحب كما فى حالة الحديد الزهر. كذلك يتسبب فى انخفاض درجة انصهار الحديد، فعلى حين ينصهر الحديد النقى الخالى من الكربون عند ١٥٣٥° سلزيوس، ينصهر الحديد المحتوى على ٠,٣٪ من الكربون عند ١١٥٠° سلزيوس فقط.

ويحضر الحديد المطاوع بتسخين الحديد الزهر فى أفران عاكسة مبطنه بأكاسيد الحديد، وعندما ينصهر الحديد الزهر الموضوع على أرضية هذه الأفران بواسطة الغازات الساخنة المنعكسة من سقف الفرن، يتأكسد ما بالحديد من شوائب مثل السليكون والمنجنيز، ويظهران على هيئة خبث يمتص داخله أغلب ما بالحديد الزهر من فوسفور.

كذلك يبدأ الكربون الموجود بالحديد الزهر فى التأكسد بواسطة الأكسجين الموجود فى أكسيد الحديد الذى تتكون منه بطانة الفرن، ويتحول إلى غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يظهر على هيئة فقائيع تخرج من سطح الحديد المنصهر مما يجعله يبدو كأنه يغلى، ولهذا سميت هذه الطريقة قديما باسم الغليان «Boiling».



وعندما يخلو الحديد المنصهر من هذه الشوائب، تبدأ درجة انصهاره فى الارتفاع، ولهذا يبدأ الحديد المنصهر فى التحول إلى كتل صلبة رغم ثبات درجة حرارة الفرن، وهى بذلك تكون قد تحولت إلى حديد مطاوع يمكن طرقه على هيئة قضبان أو سحبه على هيئة صفائح.

ويتميز الحديد المطاوع بقوة شد عالية وبمتانته، ولهذا استخدم فى وقت من الأوقات فى بناء بعض الكبارى والسفن، ثم استبدل بعد ذلك بالصلب، ولكنه ما زال مستخدماً بواسطة الحدادين فى تصنيع بعض الأدوات والمعدات، أو فى العمليات التى تحتاج إلى لحام أو برشام.

ويعطى الحديد نوعين من الأملاح هما : أملاح الحديدوز، وتكون فيها ذرة الحديد ثنائية التكافؤ، وأملاح الحديدك التى تكون فيها ذرة الحديد ثلاثية التكافؤ.

ومن أمثلة هذه الأملاح كبريتات  $[Fe SO_4]$  وهى تستخدم فى ترسيب الذهب من محاليله، كما تستخدم فى صنع الحبر وأزرق بروسيا، وفى بعض عمليات الصباغة والصبغة، كما تستعمل كبريتات الحديدوز النشادرية فى الكيمياء التحليلية.

كذلك تستخدم نترات الحديدك وكلوريد الحديدك فى ترسيخ الأصباغ على النسيج، كما تستخدم أملاح الفروسيانيد فى عمليات الأكسدة وفى الكشف عن بعض الفلزات الأخرى.

## الصلب Steel

يستخدم حاليا نحو ٩٠٪ من الحديد الزهر المنتج بواسطة الفرن اللافيح في صناعة الصلب.

ويتطلب إنتاج الصلب تخليص الحديد الزهر من كل ما به من شوائب مثل الكربون الذي تصل نسبته فيه أحيانا إلى نحو ٤,٥٪، والمنجنيز والسليكون والكبريت والفوسفور، التي تختلف نسبة كل منها تبعا لنوع الخامات المستخدمة في إنتاج الحديد. ويجب ألا تزيد الكمية التي تبقى من هذه الشوائب عادة على ٠,٥٪ في منتج الصلب النهائي.

وكان الصلب يصنع قديما من الحديد المطاوع بتسخين قضبان منه مع الفحم النباتي، وهي عملية عرفت باسم «السمتة» Cementation وتستمر لعدة أيام. فيمتص الحديد المطاوع قدرا صغيرا من الكربون، ويتحول إلى نوع من الصلب تصل فيه نسبة الكربون إلى ١٪ أو ٠,٥٪، ويعرف باسم «الصلب اللين» Mild Steel.

كذلك استخدمت طريقة أخرى عرفت باسم «تقسية السطح» Case Hardening، يعرض فيها سطح صفائح الحديد لمعاملة خاصة، فيمتص هذا السطح فقط بعض الكربون، بينما يبقى ظهر هذه الصفائح كما هو. ويتيح بهذه الطريقة صلب عالي المتانة، استخدم في صنع ألواح التدريع، كما استخدم في صنع بعض هياكل السيارات، وفي صنع بعض أجزاء الآلات.

كذلك كان فلز المنجنيز يضاف إلى الحديد المنصهر للتخلص من الكبريت، حيث يتفاعل المنجنيز مع الكبريت مكونا كبريتيد المنجنيز ذا درجة الانصهار بالغة الارتفاع، وهو لا يقبل الذوبان في الحديد المنصهر، ولذلك يكون خبثا يطفو على سطحه ويمكن فصله. وقد تصلح هذه الطريقة للتخلص من الكبريت، ولكنها لا تصلح للتخلص من الشوائب الأخرى الموجودة بالحديد الزهر، مثل السليكون والفوسفور.

وتستخدم حاليا عدة طرق لتحضير أنواع جيدة من الصلب، يستخدم فيها الحديد الزهر عادة كمادة أولية، أهمها ما يلي :

### طريقة بسمر :

اكتشفت هذه الطريقة عام ١٨٥٠ على يد رجلين، كل منهما على حدة، أولهما مواطن أمريكي يدعى «وليم كيلي» «William Kelly»، وثانيهما رجل ألماني تجنّس بالجنسية البريطانية ويدعى «هنرى بسمر» «Henry Bessmer». وتتلخص هذه الطريقة فى دفع تيار من الهواء فى مصهور الحديد للتخلص مما به من شوائب.

وقد استخدم لهذا الغرض جهاز خاص عرف باسم «محول بسمر» «Bessmer Converter»، وهو عبارة عن وعاء ضخم يشبه الكمثرى فى شكله العام، وهو يصنع من الصلب، وتبطن جدراته الداخلية بالطوب الحرارى.

ولهذا المحول قاع مزدوج، ويكون الفراغ الواقع بين الجزء العلوى والجزء السفلى من القاع غرفة خالية، ولكن سقف هذه الحجرة يمتلئ بعدد من الثقوب المعدة لإمرار تيار من الهواء.

ويركب المحول على حامل خاص يسمح بوضعه فى وضع رأسى وقمته إلى أعلى، كما يمكن إمالاته لسكب الحديد المصهور منه.

ويحرك المحول أولا ليكون فى وضع أفقى تقريبا، ثم يصب فيه الحديد المصهور ويحرك بعد ذلك ليستخذ وضعاً رأسياً وتحتته إلى أعلى، ويمرر فى قاعه تيار من الهواء المضغوط يصل ضغطه إلى نحو ٨ كيلوجرام على السنتيمتر المربع، وتصل سرعته إلى نحو ٨٠٠ متر مكعب من الهواء فى الدقيقة الواحدة.

ويسمح ضغط تيار الهواء ببقاء الحديد المصهور فى الجزء العلوى من المحول دون أن ينفذ إلى غرفة الهواء عن طريق الثقوب الموجودة بسقفها، كما يؤدى هذا الضغط إلى مرور تيار الهواء فى خلال كتلة الحديد المصهور.

وفور مرور تيار الهواء فى الحديد المنصهر، يبدأ تطاير الشرر من فوهة المحول مع تصاعد بعض ألسنة اللهب، ويصحب ذلك تصاعد أبخرة بنية اللون مما يدل على احتراق كل من السليكون والمنجنيز. وبعد مدة قليلة من الزمن تتحول ألوان الأبخرة المتصاعدة من فوهة المحول إلى اللون الأصفر مما يعد دليلا على انتهاء احتراق السليكون.

وتتحول ألوان ألسنة اللهب فى نهاية الأمر إلى اللون الأبيض، وبعد ذلك دليلا على احتراق الكربون، ثم ينتهى بعد ذلك تصاعد ألسنة اللهب مما يشير إلى انتهاء تحول الحديد إلى صلب، وعندها يحرك المحول ليتخذ وضعاً مائلا ويصب ما به من صلب فى إحدى البواقى. وتستغرق هذه العملية بكاملها نحو ١٥ - ٢٠ دقيقة فقط.

والصلب الناتج من هذه الطريقة لا يحتوى إلا على قدر ضئيل من المنجنيز والسليكون، وقليل جدا من الكربون، ولكنه ما زال محتويا على الكبريت والفوسفور الموجود أصلا فى حديد الزهر، بالإضافة إلى أنه يحتوى أيضا على نسبة من الأكسجين الذائب فيه من تيار الهواء، وتصل نسبته إلى نحو ١,٠ ٪.

ويجب إزالة هذا الأكسجين من الصلب قبل طرده أو سحبه، ويتم ذلك عادة بإضافة سبيكة من الحديد والمنجنيز إلى الصلب عند صبه من المحول إلى البودقة، حيث يتحد المنجنيز مع الأكسجين مكونا أكسيد المنجنيز الذى يكون خبثا يطفو فوق سطح الفلز المنصهر ويمكن إزالته.

كذلك يبطن المحول أحيانا بطبقة من الجير والمغنيسيا، تحضر بتحميم معدن الدولوميت مع معدن يحتوى على الكالسيوم، ويساعد ذلك على التخلص من الفوسفور الموجود أصلا فى الحديد الزهر، والذى يتفصل على هيئة فوسفات الكالسيوم.

وقد حلت حاليا طرق أخرى محل طريقة بسمر، ولم يعد المحول يستعمل اليوم إلا قليلا، ومع ذلك فإن الصلب المحضر بطريقة بسمر له بعض الميزات

الخاصة ، لأنه يمكن تشغيله وقطعه بسهولة على هيئة أشكال متعددة أكثر من غيره من أنواع الصلب المحضرة بطرق أخرى، ويضاف إلى ذلك أنه يمكن لحامه بسهولة.

### طريقة سيمنز - مارتن Siemens - Martin :

استبدل محول بسمر فى هذه الطريقة بفرن مفتوح يعرف باسم «Open Hearth Furnace».

والفرن المفتوح فرن مستطيل الشكل ومتوازي الأضلاع، ومبطن بالطوب الحرارى بحيث يتحمل الحرارة العالية حتى ١٦٠٠ سلزيوس، وتدفع شحنة الفرن إلى أرضيته بواسطة آلة شحن خاصة عن طريق أبواب على أحد جانبي الفرن، وتوجد بهذه الأبواب فتحات خاصة تسمح برؤية المادة المنصهرة على أرضية الفرن، ومراقبتها أثناء عملية الصهر.

وتستخدم هذه الطريقة فى تصنيع أغلب أنواع الصلب المستخدمة اليوم، ويعالج فيها حديد الزهر وكافة أنواع الحديد الخردة الأخرى، مثل هياكل السيارات القديمة، وعربات السكة الحديد، وكل الأشياء المصنوعة من الحديد أو الصلب وانتهت صلاحيتها، وهى بذلك تساعد على إعادة استخدام كل الأشياء التى لم تعد هناك حاجة إليها.

وتتكون شحنة الفرن من كل هذه الأصناف مضافا إليها الحجر الجيري للمساعدة على الصهر وعلى تكوين الخبث.

وتتعدد أصناف الوقود التى تستخدم فى الفرن المفتوح، فيمكن استخدام الغاز الطبيعى أو الزيت، أو غاز الفحم، أو خليط من هذه الأنواع، ويدفع الخليط من موقد خاص عند كل من طرفي الفرن، ولكن المعتاد أن يكتفى بموقد واحد فقط، ويخلط الوقود بالهواء السابق تسخينه ثم يشعل، فتندفع الغازات الساخنة من الموقد وتمر فوق الحامة المتجمعة على أرضية الفرن، وبعد مدة قصيرة، تبدأ

الخامة وقطع الخردة المختلطة بها في الانصهار، وتتطاير الشوائب مع الغازات الساخنة التي تحملها معها وتخرج بها من الناحية الأخرى من الفرن.

ويوجد ببعض هذه الأفران المفتوحة أنبوب يتدلى من سقف الفرن ويستخدم هذا الأنبوب في دفع تيار من غاز الأكسجين على سطح الصلب المنصهر، ويؤدي ذلك إلى المساعدة على إحراق وأكسدة أغلب الشوائب مثل الكربون والكبريت والسليكون.

ويوجد أسفل كل فرن غرفتان كبيرتان تعرفان باسم غرفتا التسخين، كما تعرف باسم المولدات، وكل غرفة منهما مقسمة إلى خللايا تشبه خللايا النحل ومبطنة بالطوب الحراري، وتمر بها الغازات الساخنة الخارجة من الفرن لتسخينها، في الوقت الذي يكون فيه الهواء الداخل إلى الموقد يمر في الغرفة لأخرى السابق تسخينها بنفس الأسلوب، وهكذا يتم تبادل إمرار غازات الاحتراق والهواء في الغرفتين كل عشر أو خمس عشرة دقيقة.

وتستغرق التشغيل الواحدة في الفرن المفتوح نحو ١٢ ساعة، وفي نهاية هذه المدة يفتح مجرى خاص في أرضية الفرن يسيل منه الصلب المنصهر إلى بودقة ضخمة موضوعة في حفرة بجوار الحائط الخلفي للفرن، على حين يجمع الخبث المنصهر في بودقة صغيرة أخرى.

وإذا أريد صنع نوع خاص من السبائك، فيتم ذلك عادة بإضافة المواد اللازمة لصنعها في أثناء انسياب الصلب المنصهر من الفرن إلى البودقة، وهي عملية تتم بدقة كبيرة لضمان الحصول على نوع الصلب المطلوب.

وعادة ما تضاف المواد المطلوبة لصنع السبيكة مثل المنجنيز والتنجستين والسليكون وغيرها، على هيئة سبائك مع الحديد سبق تحضيرها في الفرن الكهربائي، أما النيكل فيضاف عادة على هيئة فلز.

## طريقة الفرن الكهربائي :

تستخدم هذه الطريقة أساسا لتحضير أنواع من الصلب تحتوى على نسب مرتفعة من الفلزات الأخرى، ولكنها قد تستخدم فى بعض الأحيان فى إنتاج بعض أنواع سبائك الصلب المنخفضة الأخرى، وبعض أنواع صلب الكربون.

ويتم صهر الصلب فى هذه الطريقة بواسطة الحرارة الناتجة من القوس الكهربى، وتصل درجة الحرارة فى الفرن الكهربائي إلى نحو ١٨٠٠ سيلزيوس، ولا يحتاج الأمر إلى استخدام وقود أو استعمال الهواء فى هذه الطريقة، وبذلك يمكن السيطرة على كمية غاز الأكسجين الداخلة إلى الفرن، ويساعد ذلك على تقليل نسبة الأكسجين فى الصلب الناتج، كما أن الفلزات الأخرى التى تضاف إلى الصلب المنصهر لا تتعرض للأكسدة، وبذلك لا يفقد منها شيء.

والفرن الكهربائي عبارة عن صندوق كروي الشكل تقريبا، يشبه غلاية الماء أو الشاى فى شكله العام، وتصل سعته إلى ٥ - ٩٠ طنا تبعا لكمية الصلب المطلوب إنتاجها، وهو مبطن من الداخل بالطوب الحرارى. وتمتد من القمة المستديرة للفرن ثلاثة أقطاب كهربائية مصنوعة من الكربون تؤدي إلى توصيل الشحنة الكهربائية إلى ما بالفرن من صلب، ويمكن رفع كل قطب منها، أو إنزاله على حدة مستقلا عن الآخرين، ويلاحظ أن درجة الحرارة ترتفع كثيرا داخل الفرن، كلما قلت المسافة بين هذه الأقطاب الكهربائية وشحنة الصلب.

ويوجد بالفرن باب خاص فى أحد جوانبه يستخدم فى شحنته، بينما توجد فتحة خاصة فى جانبه الآخر تستخدم فى صب الصلب، ويركب الفرن على محور خاص يسمح بإمالاته عند سحب الصلب منه.

والطريقة التى يغلب استخدامها فى الفرن الكهربائي يطلق عليها اسم «طريقة المصهور البارد» «Cold - Melt Process»، ويطلق عليها هذا الاسم لأن الشحنة تتكون من خردة الصلب الباردة غير المنصهرة، ويعد استكمال شحن الفرن يوصل

التيار الكهربائي بالانقطاب، ثم يتم إنزالها إلى داخل الفرن واحدا بعد الآخر، وعندما يقترب كل قطب من شحنة الصلب، تثب شرارة كهربائية بينهما ويسمع لها دوى هائل مثل دوى الفرقة، ويؤدي مرور التيار الكهربائي في الشحنة إلى رفع درجة حرارتها حتى تنصهر تماما.

وتعالج الشحنة على مرحلتين، الأولى منهما يضاف فيها الحديد إلى الشحنة المنصهرة لأكسدة كل من المنجنيز والسليكون والفوسفور والكربون، ويتكون فيها خبث يطفو على سطح الشحنة ويتم سحبه، أما المرحلة الثانية فيتكون فيها خبث جديد عند إضافة مواد جديدة مثل أكسيد الكالسيوم والفيرو سليكون، ويقوم أكسيد الكالسيوم بخفض نسبة كل من الكبريت والكربون، على حين يزيل الفيرو سليكون أغلب الأكسجين كما يساعد على إزالة الكبريت.

وفي نهاية المرحلة الثانية يزال الخبث، ثم تضاف كميات محسوبة بدقة من الفلزات المكونة للصبائك المطلوبة، وتضبط درجة حرارة الشحنة للمساعدة على حدوث التفاعلات بمعدلات ثابتة.

وتستغرق العملية السابقة في الفرن الكهربائي عدة ساعات تتراوح بين ٤ - ١٢ ساعة تبعا لحجم الفرن وحجم الشحنة، وكذلك تبعا لنوع الصلب المطلوب. ويحرك الفرن بعد ذلك إلى الوضع المائل لصب الشحنة النهائية في بودقة يتناسب حجمها مع حجم الشحنة، وقد يوضع بقاعها بعض أقراص صغيرة من فلز الألومنيوم لمعادلة عملية التأكسد بأكسجين الهواء.

### طريقة الأكسجين :

ابتكرت هذه الطريقة لصناعة الصلب في النمسا بواسطة «لينز و دونويتز» Linnz & Donnewitz، وهي تعرف أحيانا باسم طريقة «ل.د» «L.D»، وهي الحروف الأولى من اسمي مبتكريها.



وقد بدأ استخدام هذه الطريقة في الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٤٥، في نهاية الحرب العالمية الثانية، وأصبح إنتاج الصلب المحضر بواسطتها اليوم يزيد كثيرا على كمية الصلب المنتج بواسطة الفرن المفتوح.

وتتم هذه الطريقة باستخدام محول يشبه محول بسمر إلى حد ما، وهو يشحن بالخلديد المنصهر وبيعض الخردة، وتضاف إليه مادة الصهر، ثم يدفع تيار من غاز الأكسجين النقي من أنبوية خاصة، فوق سطح الفلز المنصهر، ويساعد ذلك على أكسدة كل الشوائب وتطايرها، وعند انتهاء عملية الأكسدة وبعد فصل ما قد يتكون من خبث، يحرك المحول ليتخذ وضعاً مائلاً، ويصب منه الصلب الناتج.

ومن الملاحظ أن هناك شبهها كبيرا بين هذه الطريقة وطريقة بسمر، ولكن طريقة بسمر يستخدم فيها تيار من الهواء الذي يحتوى على نحو ٧٨٪ من غاز النتروجين، ولذلك فإن الصلب الناتج من محول بسمر يحتوى على قدر ضئيل من النتروجين ذائبا فيه، وهو أمر غير مستحب لأن وجود بعض النتروجين في الصلب يقلل من متانته ويجعله سهل القصف.

#### طريقة الفراغ : Vacuum Process

يتم تسخين الصلب وصهره في هذه الطريقة عن طريق القوس الكهربائي أو بأى وسيلة أخرى، ثم يصب الصلب المنصهر في غرف مخلخلة الضغط، وبذلك تزال منه كل الغازات غير المرغوب فيها مثل الأكسجين والنتروجين، ويستحول الصلب عند صبه في هذه الغرف ذات الضغط المخلخل إلى قطرات صغيرة نسبيا مما يساعد على التخلص من الغازات.

ويستعمل الصلب الناتج من هذه الطريقة في صنع التوربينات، وفي صنع كرات المحاور، وبعض أجزاء الطائرات وسفن الفضاء، لأنه يتحمل ظروف التشغيل القاسية.



## القصدير

القصدير فلز أبيض لامع، وزنه الذرى ١١٨,٦٩، وعدده الذرى ٥٠، وينصهر عند ٢٣١,٨٩، ويغلى عند ٢٢٦٠ ملزبوس.

وقد عرف القصدير منذ زمن بعيد، ونادرا ما يوجد الفلز حرا وغير متحد فى الطبيعة، ولكنه يوجد عادة على هيئة أكسيد القصدير فى واحد من أهم خاماته وهو معدن «الكاسترايت» «Cassiterite»، كما يوجد على هيئة السبايريت [كبريتيد القصدير Sn S] مختلطا ببعض الكبريتيدات الأخرى مثل كبريتيد النحاس أو كبريتيد الحديد.

ويحضر القصدير من خاماته التى تتكون من الأكسيد باختزالها بواسطة الفحم إلى ثنائى أكسيد الكربون وفلز القصدير.



وتبدأ هذه العملية أولا بتحميص الخامة عند درجة حرارة مرتفعة للتخلص من بعض ما بها من شوائب متطايرة، مثل الزرنيخ والكبريت، ثم تخلط الخامة بعد ذلك بفحم الأنثرايسيت وتصهر فى فرن عاكس كما فى حالة فلز النحاس.

وبعد أن يتم اختزال الأكسيد يسحب فلز القصدير المنصهر من فتحة خاصة فى أرضية الفرن العاكس ويصب فى قوالب.

والقصدير الناتج من هذه العملية لا يكون نقياً بدرجة كافية، ولذلك فهو ينقى بطريقة الإرسالة، وذلك بتسخينه عند درجة انصهاره، فينسبب الفلز النقى المنصهر تاركا وراءه الشوائب التى لا تقبل الانصهار عند هذه الدرجة.

والقصدير فلز لين تصنع منه صفائح رقيقة جدا تعرف باسم رقائق القصدير «Tin foil»، وهى قد تستخدم فى لف الهدايا وبعض أنواع الطعام، ولكنها استبدلت حاليا برقائى الألومنيوم فى أغلب الحالات.

كذلك استخدم القصدير فى تغطية النحاس لمنع من التأكسد بالهواء الجوى أو بعلامته للسوائل كما فى بعض أدوات الطعام التى كانت تستخدم فيما مضى.

ويطلق على هذه العملية اسم «تبييض النحاس» «Tinning of Copper» وهي تتم عادة بإضافة قدر ضئيل من القصدير المنصهر، وفرده سريعا على سطح النحاس قبل أن يجمد فتكون بذلك طبقة من القصدير فوق سطح النحاس تكفي لحمايته من التأكسد.

ويستخدم القصدير كذلك فى تغطية صفائح الصلب التى تصنع منها عبوات الطعام للمحفوظ وغيرها. ويتم ذلك عادة بطريقة الطلاء بالكهرباء.

وتعمر صفيحة الصلب فى محلول أحد أملاح القصدير فى أثناء مرور تيار كهربائى بينها وبين قطب من القصدير النقى، فيترسب القصدير على سطح صفيحة الصلب. وتنقل صفيحة الصلب بعد ذلك إلى فرن خاص لصهر طبقة القصدير المترسب على سطحها، فتتكون بذلك طبقة رقيقة جدا على هذا السطح تنصف بتناسق سمكها.

كذلك استخدم القصدير فى تغطية كثير من اللدائن لإعطائها سطحا لامعا براقا يشبه الفضة، ويتم ذلك بوضع هذه المشغولات فى جهاز خاص تحت ضغط منخفض ويخسر فيه القصدير، فيترسب بخاره على سطح هذه المشغولات على هيئة طبقة رقيقة جدا شديدة اللمعان.

وقد استخدم القصدير فى صنع عديد من السبائك مثل البرونز والفضة، وفلز الطباخة، وسبيكة اللحام، وبعض السبائك التى تنصهر عند درجات حرارة غير مرتفعة، كما استخدمت أملاحه فى صناعة النسيج وفى صناعة الزجاج.

وقد تبين أن سبيكة القصدير مع فلز النيوبيوم تفقد مقاومتها للتيار الكهربائى تماما، أى تصبح فائقة التوصيل عند تبريدها إلى -٢٥٥ تحت الصفر.

ويتحول فلز القصدير عند تبريده إلى درجات حرارة منخفضة من الفلز الأبيض وكثافته ٧,٢٨، إلى الفلز الرمادى ويعرف باسم قصدير - ألفا، كما يعرف باسم الصورة اللافلزية للقصدير، وتصل كثافته إلى ٥,٧. ويتفتت الفلز فى هذا التحول إلى ما يشبه الرماد.

وتعرف هذه الظاهرة باسم «مرض القصدير» أو «وباء القصدير» وكانت هناك حالات صارخة لمثل هذا التحول، فقد تعرضت مدينة «زايتز» Zeitz في ألمانيا في عام ١٨٥١ إلى شتاء قارس وشديد البرودة فتحولت أنابيب الأورج المصنوعة من القصدير إلى رماد.

كذلك تحولت كتل القصدير في روسيا إلى رماد عند تعرضها للبرودة الشديدة.

وقد منعت هذه الظاهرة استخدام القصدير في صنع المعدات أو الأدوات التي تتعرض لدرجات الحرارة المنخفضة، مثل أجهزة التكييف وغيرها، ولكن وجد أن وجود القصدير على هيئة صفائح رقيقة، أو على هيئة طبقة رقيقة فوق سطح فلز آخر، لا يحدث له هذا التحول ولا يتعرض لهذا الوباء.

## الزنك

الزنك فلز أبيض وزنه الذرى ٦٥,٣٧، وعدده الذرى ٣٠، وينصهر عند ١٩,٥°، ويغلى عند ٩٠٧° سلزبوس، وهو أخف من الحديد حيث تبلغ كثافته ٧,١.

وأهم خامات الزنك هو «البلند» أو كبريتيد الزنك  $[Zn S]$ ، وهو يوجد فى بعض مناطق بريطانيا وبلجيكا وأستراليا. وهناك خامات أخرى للزنك، ولكنها أقل أهمية، مثل «الكالامين»  $Calamine$  وهى كربونات الزنك  $[Zn CO_3]$ ، و«الزنكايت»  $Zencite$  وهو أكسيد الزنك  $[Zn O]$ .

ويستخلص فلز الزنك من خاماته مثل الكبريتيد أو الكربونات، بتحويلها إلى الأكسيد أولاً، ثم اختزالها بواسطة الفحم.

وتتم العملية بتحميص الخامة فى أفران خاصة فى وجود تيار من الهواء ولكن يجب التحكم فى كمية الهواء وفى درجة الحرارة حتى لا يتأكسد الكبريتيد إلى كبريتات، ويتصاعد فى هذه العملية قدر كبير من غاز ثانى أكسيد الكبريت، ولهذا يستخدم هذا الغاز عادة فى صنع حمض الكبريتيك.

وتعرض الخامة التى تتكون بعد ذلك من أكسيد الزنك إلى عملية اختزال وتقطير. ويلاحظ أن طريقة استخلاص الزنك من خاماته تختلف عن كل من الرصاص والنحاس، فلا يستخدم فيها الفرن اللاصق أو الفرن العاكس، ولكن يخلط ناتج التحميص مع نصف وزنه تقريبا من فحم الكوك أو فحم الإنتراسيت ومعه قدر صغير من الملح، ثم يسخن الخليط فى موجات من الطوب الحرارى.

ويختزل الأكسيد فى هذه العملية بواسطة الفحم، ويتصاعد غاز أول أكسيد الكربون من فوهة المكثفات على هيئة لهب أصفر نتيجة لاحتوائه على بعض بخار الملح، ثم يتغير لون الأبخرة المتصاعدة بعد ذلك إلى اللون الأخضر دليلا على تصاعد أبخرة الزنك.

وتتكثف هذه الأبخرة فى مكثفات خاصة، يتم التحكم فى طولها وفى درجة التبريد بها بحيث تسمح بتحول أبخرة الزنك إلى سائل ولا تسمح بتبريد هذه

الأبخرة إلى مادة جامدة، لأن الزنك عندما يتحول إلى مادة جامدة يكون عادة على هيئة خبيبات أو تراب يصعب تحويلها إلى فلز إلا بعد إعادة تقطيرها.

وعادة ما يحتوى الفرن على عدد كبير من المعوجات قد يزيد على ١٥٠ معوجة أو أكثر. ويحتاج بدء التفاعل إلى انقضاء نحو ساعتين من بداية التسخين، وتحتاج العملية الكاملة إلى نحو ٢٤ ساعة، وتصل درجة حرارة التقطير إلى نحو ١٤٠٠°سليزيوس.

ويصعب الزنك السائل فى أوعية من الحديد، أو فى قوالب، وتصل كمية الزنك المستخلصة بهذه العملية إلى نحو ٧٥٪، وتصل درجة نقاوته إلى نحو ٩٨٪.

#### تنقية الزنك :

يحتوى الزنك الناتج على بعض الشوائب مثل الرصاص والكاديوم والحديد والزرنيخ، وقليل من بعض الفلزات الأخرى مثل الكوبلت والنيكل والفضة والنحاس.

ولا يمكن تنقية الزنك بإعادة تقطيره لأن الكاديوم والرصاص والزرنيخ تتطاير مع بخار الزنك المتصاعد، ويمكن تسخين الزنك فى فرن خاص تضبط فيه درجة الحرارة عند حد يسمح بالإسالة فقط، فيفصل الرصاص الذى ينصهر أولاً ويتجمع فى حفرة خاصة بأرضية الفرن، ثم تفصل طبقة الزنك المنصهر التى لا تحتوى بعد ذلك إلا على ١٪ من الرصاص.

وهناك طريقة أخرى لاستخلاص الزنك تسمى فيها الحامى بطريقة تسمح بتحويل الكبريتيد إلى كبريتات، ثم تعامل بعد ذلك بحمض الكبريتيك ويتم التخلص من الفلزات مثل الكوبلت والكاديوم والنيكل والنحاس والفضة بتلامس المحلول مع تراب الزنك ثم يمرر فى المحلول تيار كهربائى بين كاثود من الألومنيوم وأنود من الرصاص. والزنك الناتج من هذه الطريقة تفصل درجة نقاوته إلى ٩٩,٥٪.

ويجب التخلص تماما من آثار كل من النيكل والكوبلت، لأن وجود آثار ضئيلة من كل منهما يمنع تكوين طبقة متجانسة من الزنك على الكاثود.

والزنك فلز قصيف فى درجات الحرارة العادية، ولكنه يصبح قابلا للسحب عند ١٢٠° سلزيوس، ويمكن تحويله إلى صفائح، ثم يصبح هشاً مرة أخرى عند ٢٠٠° سلزيوس، ويمكن دقّه إلى مسحوق.

ويدخل الزنك فى تكوين عديد من السبائك الهامة كما تستخدم بعض أملاحه فى عديد من الأغراض فيستعمل أكسيد الزنك فى صنع الطلاء تحت اسم أبيض الزنك، كما يستخدم خليط من كبريتيد الزنك وكبريتات الباريوم فى صنع الطلاء الأبيض تحت اسم ليتوبون «Lithopne».

كذلك يستخدم كلوريد الزنك فى تنظيف سطوح الفلزات قبل لحامها كما يستعمل مادة كاوية وفى حفظ الأخشاب، ويستعمل كلوريد الزنك اللامائى فى التفاعلات الكيميائية كمادة ماصة للماء.

ويستخدم خليط من أكسيد الزنك مع حمض الفوسفوريك ومواد أخرى فى عمليات الحشو المؤقت للأسنان، كما تستخدم كبريتات الزنك فى الطب وفى لحفظ الجلود والأخشاب.

ويستعمل الفلز نفسه فى تغطية الحديد فى عملية تعرف باسم الجلفنة وفيها تغمس صفائح الحديد فى الزنك المصهور فتكون على سطحها طبقة رقيقة من الزنك تمنع تأكسد الحديد.



## استخلاص الفلزات من خاماتها بالتحميص في الهواء

### النحاس

النحاس فلز أحمر اللون، لامع السطح، وزنه الذري ٦٣، وعدده الذري ٢٩، وينصهر عند ٨٣٠°سليزيوس.

ويندر أن يوجد النحاس حرا في الطبيعة، ولكنه يوجد في أغلب الأحوال متحدا مع غيره من العناصر على هيئة أكاسيد، أو على هيئة كربونات أو كبريتيدات.

وقد عرف الإنسان النحاس منذ زمن طويل، أي منذ نحو ٦٠٠٠ عام على وجه التقريب، وربما كان أيضا قبل ذلك، واستخدمه في صنع بعض أدواته. كذلك صنع منه الإنسان، في مرحلة ما، سبيكة مع القصدير عرفت باسم البرونز، وصنع منها أغلب ما يحتاجه من أدوات حتى أن ذلك العصر عرف باسم عصر البرونز.

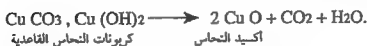
وأهم خامات النحاس هي الأكاسيد مثل «الملاكيت» «Malachite»، و«الأوريت» «Aurite»، و«الكوبريت» «Cuprite»، و«الاتاميت» «Atacamite»، و«البروكانتيت» «Brochantite».

كذلك تعد الكبريتيدات من الخامات الهامة للنحاس، مثل «التشالكوسايت» «Chalcocite»، و«البشالكوبايريت» «Chalcopyrite»، و«الكوفيللايت» «Covellite»، و«البورنايت» «Bornite».

وعندما تكون خامة النحاس مكونة من الأكاسيد والكربونات، تطحن الخامة أولا، ثم تحمص بالحرارة حتى تتحول الكربونات إلى أكسيد، ثم تخلط بعد ذلك

بفحم الكوك، أو بفحم الإنتراسيت، ويخلو كلاهما من المواد المتطايرة، ثم يضاف إليها مادة صاهرة تساعد على التخلص مما بها من طفّل وبعض أنواع السليكات، ويصهر الخليط بعد ذلك عند درجة حرارة عالية.

ويمكن تمثيل التفاعلات التي تحدث بالمعادلات الآتية :



وتعتبر خامات النحاس المتكونة من الكبريتيدات أكثرها أهمية وأكثرها انتشاراً، ويحتاج استخلاص النحاس منها إلى عملية طويلة، يتم على عدة خطوات، أهمها إزالة ما بالخامة من حديد بواسطة الأكسدة، والصهر مع مادة صاهرة، ثم فصل الفلز عن الكبريت.

وكانت أولى الطرق التي استخدمت لاستخلاص النحاس من خاماته تعرف باسم «طريقة ويلش» «Welsh Process»، وكانت تجري على عدة خطوات أهمها ما يلي :

### أولاً - خطوة التحميص :

تسعمل فيها خامة النحاس التي تتكون من الكبريتيد أو من خليط من الكبريتيد والكربونات، وتخلط الخامة مع بعض الكوارتز والسليكات بحيث يحتوى الخليط على نحو ١٥٪ من النحاس، ثم يحمص بعد ذلك عند درجة حرارة عالية لأكسدة كبريتيد الحديد إلى أكسيد الحديد، ولتحويل كربونات النحاس إلى أكسيد النحاس، على حين يبقى كبريتيد النحاس كما هو.

وكانت عملية التحميص تجري في بعض الأحيان بتجميع الخامة على هيئة أكوام في قمان خاصة، ثم أجريت بعد ذلك في أفران عاكسة أو في أفران دوارة مثل الأفران المستخدمة في صناعة الأسمنت، ويتصاعد في عملية التحميص كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكبريت. ولهذا فهو لا يطلق في الهواء، بل يستخدم في بعض العمليات الأخرى، كما في عمليات تحضير حمض الكبريتيك.

وإذا كانت خامة النحاس بها بعض أملاح الزرنيخ، فإنها تتحول في عملية التحميص إلى أكسيد الزرنيخ الذي يتطاير مع الغازات الخارجة من فرن التحميص، ثم يفصل منها بعد ذلك عند تبريدها على هيئة رماد.

### ثانيا - المرحلة الأولى للصهر :

يتم في هذه المرحلة صهر الخامة الناتجة من خطوة التحميص بعد خلطها ببعض السليكا والفلورسبار، وتتحد فيها أكاسيد الحديد مع السليكا مكونة خبثا من سليكات الحديد التي تطفو على سطح كبريتيد النحاس المنصهر، ويفصل هذا الخبث بعد ذلك، وهو لا يحتوى عادة على أكثر من ٥ ٪ من النحاس.

وتقع أهمية هذه الخطوة فى تخليص خامة النحاس مما بها من حديد، ويفصل كبريتيد النحاس المنصهر من فتحة خاصة فى قاع فرن الصهر، ويصب فى بودقة كبيرة من الحديد بها بعض الماء، فيتحول إلى مخردق أو إلى حبيبات متفاوتة الأحجام والأشكال.

وتعرف هذه الحبيبات باسم «الفلز الخشن» «Coarse Metal» وهى تتكون من نحو ٣٠ - ٣٤ ٪ من النحاس، ونحو ٢٣ ٪ من الكبريت، بالإضافة إلى احتوائها على كميات متفاوتة من الحديد والزرنيخ.

### ثالثا - المرحلة الثانية للصهر :

تعالج فى هذه المرحلة حبيبات الفلز الخشن كما فى المرحلة الأولى للصهر، وهى تؤدي إلى تكوين كبريتيد نحاس أكثر نقاوة من الكبريتيد المنفصل فى المرحلة الأولى للصهر، وهو يحتوى فى هذه الحالة على نحو ٧٠ - ٨٠ ٪ من النحاس، ونحو ١٥ - ٢٠ ٪ من الكبريت، ويطلق عليه مجازا اسم «الفلز الجيد» «Fine Metal».

ويضاف الخبث الناتج من هذه المرحلة إلى دفعة جديدة من الخامة الناتجة من خطوة التحميص، ويعالجان معا فى المرحلة الأولى للصهر.

### رابعا - تحميص الفلز :

تحمص الخامة الناتجة من المرحلة الثانية للصهر فى فرن عاكس فى وجود تيار من الهواء حتى يتأكسد نصف الكبريتيد إلى أكسيد، ثم يقلل تيار الهواء وترفع

درجة حرارة الفرن، فيتفاعل أكسيد النحاس مع ما تبقى من كبريتيد النحاس مكونا فلز النحاس، ويتصاعد فى هذا التفاعل غاز ثانى أكسيد الكبريت.

ويصب النحاس المنصهر فى قوالب من الرمل ذات حجم محدد، وغالبا ما يتصاعد من النحاس المنصهر قبل أن يجمد تماما قليل من غاز ثانى أكسيد الكبريت الذائب فيه، ويؤدى خروج الغاز على هيئة فقاعات فى ظهور فلز النحاس المتجمد، وبه بعض الثقوب، وكان سطحه به بعض البثور ولذلك فهو يعرف باسم «نحاس البثور» «Blister Copper».

ويحتوى هذا النحاس على نحو ٢ - ٣٪ من بعض الشوائب مثل الحديد والزرنيخ، أما الخبث الناتج فى هذه العملية وهو يحتوى على قدر ما من النحاس، فيعاد للاستخدام مرة أخرى فى المرحلة الثانية للصهر.

#### خامسا - مرحلة التنقية :

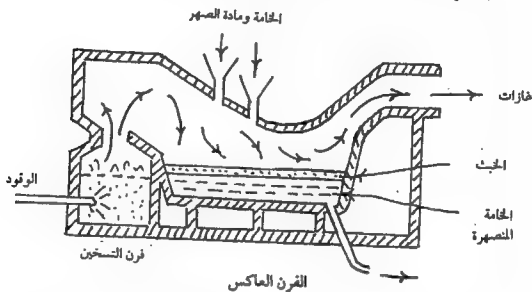
تستعمل فى هذه العملية كميات كبيرة من نحاس البثور قد تصل أحيانا إلى عشرة أطنان فى الدفعة الواحدة، وهى تصهر ثم تعرض لتيار من الهواء لأكسدة ما تبقى من كبريت فى النحاس، كما يتأكسد الزرنيخ باكسجين الهواء إلى أكسيد الزرنيخ الذى يتطاير مع الهواء الخارج من فرن الصهر.

أما الشوائب الأخرى التى قد توجد بالنحاس، مثل الحديد والقصدير والرصاص، فهى تتحول كذلك إلى أكاسيد فى هذه العملية، ولكن أكاسيدها غير متطايرة، وتظهر على هيئة خبث يحتوى على بعض أكاسيد النحاس، ويطفو هذا الخبث على سطح الفلز المنصهر، وعادة ما يفصل هذا الخبث ويعاد استخدامه فى المرحلة الثانية للصهر.

ويحتوى فلز النحاس الناتج من هذه المرحلة على بعض أكسيد النحاسور  $[Cu_2O]$ ، الذى يجعل الفلز قصيفا، ويمكن إزالة هذا الأكسيد بإضافة قدر محسوب من فحم الأنثراسيت إلى فلز النحاس المنصهر وتقليبه جيدا مدة من الزمن، فيتحول الأكسيد إلى نحاس بعد اختزاله بالفحم، ويتأكسد الفحم إلى غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يتصاعد إلى الهواء.

وقد استبدلت طريقة ويلش فيما بعد بطريقة الفرن اللافيح، ويتكون هذا الفرن كما فى صناعة الحديد، من برج مرتفع قد يصل ارتفاعه إلى نحو ثلاثة عشر مترا.

ولهذه الطريقة بعض العيوب، منها اختلاط خامات النحاس بالوقود، ولهذا تستخدم حاليا طريقة الفرن العاكس «Reverberatory Furnace» حيث يتم صهر الخامات فيها بواسطة الغازات الساخنة المنعكسة من سقف الفرن.



ويستخدم الفرن العاكس عادة فى حالة خامات النحاس التى سبق تركيزها والتى تقل بها عادة نسبة الشوائب، وتوضع هذه الخامات على القاع المسطح للفرن بعد خلطها مع مادة الصهر. ويصل طول قاع الفرن أو أرضيته إلى نحو خمسة عشر مترا، كما يصل عرضه إلى نحو ثلاثة أمتار.

ولا يختلط الوقود فى هذه الطريقة بخامات النحاس، ولكن الوقود يحرق فى فرن مجاور، ثم تدفع ألسنة اللهب وغازات الاحتراق الساخنة فى الفرن العاكس، وتنعكس هذه الغازات من سطح الفرن أو من سقفه لتضرب سطح الشحنة الموجودة على أرضيته وتؤدى إلى انصهارها.

ويسحب الحث الذى يطفو على سطح الكتلة المنصهرة من فتحة خاصة، ثم تسحب الطبقة المنصهرة السفلى من فتحة أخرى، وتنقل إلى محول خاص حيث

يدفع فيها تيار من الهواء تحت ضغط مرتفع، يؤدي إلى أكسدة ما بالشحنة من حديد وكبريت.

والنحاس الناتج من المحول يحتوى على قليل من الشوائب مثل بعض الذهب وبعض الفضة، وهو يعرف كذلك باسم «نحاس البثور» ولا تزيد درجة نقاوته على ٩٩,٥ ٪، ولكن كثيرا من الصناعات الكيميائية وغيرها تحتاج إلى نحاس عالى النقاوة، وخال من الشوائب بكافة أنواعها، ولا يمكن الحصول على هذا النوع من النحاس إلا بطريقة التحليل الكهربائى .

### تنقية النحاس بالتيار الكهربائى :

يحضر النحاس عالى النقاوة بإمرار تيار كهربائى فى محلول كبريتات النحاس بين قطبين من النحاس، ويتكون القطب السالب (الكاثود) من شريحة خفيفة من النحاس النقى، بينما يتكون القطب الموجب (الأنود) من شريحة سميكة من النحاس المراد تنقيته.

ويفضل أن تكون نقاوة نحاس الأنود المراد تنقيته ٩٨ ٪ على الأقل حتى يمكن الحصول على أفضل النتائج من هذه العملية.

وعند إمرار التيار الكهربائى فى المحلول، يذوب النحاس وبعض ما به من شوائب عند الأنود، وتحول جميعها إلى كبريتات، ويبدأ النحاس النقى فى الترسيب على سطح الكاثود.

وتصلح هذه الطريقة لاسترجاع ما بالنحاس من فلزات نفيسة مثل الذهب والفضة، وقد تصل كمية ما به من ذهب إلى نحو ١٤ جراما فى كل طن من النحاس، كما قد تصل كمية الفضة إلى نحو ثلاثة كيلوجرامات فى كل طن من النحاس، وهى كميات كبيرة جدا نظرا للحجم الهائل من النحاس المستخدم فى مختلف الصناعات.

وتتم عملية التحليل الكهربائى فى الصناعة فى أوعية ضخمة يوجد بكل منها عدد كبير من الأقطاب الكهربائية، قد يصل عددها إلى نحو ٦٠٠ قطب فى الوعاء الواحد، وقد ترتب هذه الأقطاب فى وضع متوازي تتبادل فيه أقطاب الأنود السميكة من النحاس المراد تنقيته مع أقطاب الكاثود الرقيقة من النحاس النقى.

ولا تحتاج عملية التحليل الكهربائي إلى قوة دافعة كينزرة من الكهرباء،  
ويكفى لنجاح هذه العملية وجود فارق في الجهد الكهربائي لا يزيد على ٢,٠ -  
٣,٠ فولت، ما دام لا يوجد هناك تغيير كيميائي دائم في الخلية، وألا يتعدى ما  
يحدث بها من تغيير مجرد انتقال أيونات النحاس من قطب إلى آخر.

ولا يحتاج الأمر إلى استخدام تركيز عال من كبريتات النحاس، بل يكفي  
استخدام محلول تركيزه نحو ١٥٪ مضافا إليه نحو ٥٪ من حمض الكبريتيك، مع  
تقليب المحلول من حين لآخر في أثناء مرور التيار الكهربائي فيه، ضمانا لتجانس  
تركيزه في كل مكان فيه.

وعادة ما يتم تحليل المحلول كل مدة من الزمان لتقدير كمية كبريتات  
الحديد التي قد تتكون في أثناء عملية التحليل الكهربائي، والتي يجب التخلص  
منها، وكذلك لقياس درجة تركيز المحلول، ويمكن إضافة بعض كبريتات النحاس  
إلى المحلول للمحافظة على تركيزه إذا لزم الأمر.

كذلك يجب قياس درجة حرارة المحلول من حين لآخر، ويجب ألا ترتفع  
درجة حرارته على ٤٠° سيزيوس.

وتتكون في أثناء عملية التحليل الكهربائي بعض الرواسب حول الأنود وهي  
تتج من ذوبان ما بالنحاس الخام من فلزات أخرى، وهي عبارة عن كبريتات  
الرصاص والذهب والفضة بالإضافة إلى بعض الكبريتات القاعدية لكل من  
القصدير والانيمون واليزموت.

وعادة ما تفصل هذه الرواسب لاستغلالها في الحصول على ما بها من  
فلزات، وخاصة فلزات الذهب والفضة، وهي تذاب عادة في حمض الكبريتيك،  
وتفصل منها الفضة بالترييب بواسطة النحاس أو الحديد، كما يفصل منها الذهب  
بأسلوب مماثل.

وتصل كمية الذهب والفضة التي تفصل من هذه الرواسب إلى عدة آلاف  
من الكيلوجرامات مما يرفع كثيرا من القيمة الاقتصادية لعملية التحليل الكهربائي  
للنحاس.

والنحاس فلز قابل للطرق والسحب، ولذلك تصنع منه بعض الشرائح والأنايب والأسلاك التى تستخدم فى كثير من الأغراض، وتبلغ قوة شلده تسعة أطنان لكل بوصة مربعة، وهى تصل تقريبا إلى ضعف قوة شد الألومنيوم، ولكن قوة شد الألومنيوم تصبح أعلى من قوة شد النحاس، عند استعمال نفس الوزن من كلا الفلزين.

والنحاس فلز متوسط النشاط الكيميائى، وهو يتأكسد فى الهواء الرطب إلى مادة خضراء اللون، تعرف باسم «جنزارة النحاس» وهى تتكون من كربونات النحاس القاعدية  $[Cu CO_3, Cu (OH)_2]$ . ويفقد النحاس خاصية التأكسد فى الهواء عند تكوين سبائك منه مع بعض الفلزات الأخرى.

والنحاس له القدرة على الامتزاج مع غيره من الفلزات، وهو يكون معها محاليل جامدة. ومن أمثلة هذه الفلزات البلاتين والذهب والنيكل والمنجنيز والبالديوم وغيرها. وتستخدم بعض هذه السبائك فى سك النقود وفى صنع الحلى وبعض أدوات الطهى وغيرها من المشغولات (انظر السبائك).

وتستخدم بعض مركبات النحاس فى صنع بعض الأدوية، وفى صنع بعض المبيدات وبعض أنواع الطلاء. ويمثل النحاس عنصرا هاما فى دماء بعض القواقع والقشريات.



## الرصاص

الرصاص فلز رمادى اللون، وزنه الذرى ١٩, ٢٠٧، وعدده الذرى ٨٢، ينصهر عند ٣٢٧°، ويغلى عند ١٦٢٠° سلتزيوس.

وقد يوجد الرصاص أحيانا منفردا فى الطبيعة، ولكنه يوجد عادة على هيئة بعض مركباته، وأهم خامات الرصاص هو كبريتيد الرصاص المعروف باسم «جالينا» «Galena»، ويوجد فى بعض الأحيان فى عروق الكالسايث، والمرو، والفلورسبار، والباريتا.

وهناك خامات أخرى للرصاص، ولكنها ذات قيمة ثانوية، مثل معدن «السيروسايث» «Cerussite» ويتكون من كربونات الرصاص، ومعدن «الانجليزايث» «Anglesite» الذى يتكون من كبريتات الرصاص.

وقد عرف الرصاص من أيام الرومان، وصنعوا منه أنابيب لنقل المياه وخاصة فى بعض مناطق إنجلترا وأسبانيا، وقد اكتشفت حديثا رواسب ضخمة للرصاص فى أستراليا.

ولفلز الرصاص فوائد متعددة، فهو يدخل فى صنع كثير من السبائك مثل البرونز والصفّر وسبيكة اللحام، وبعض السبائك ذات درجات الانصهار المنخفضة، كما يستخدم فى صنع سبائك الطباعة وصنع الأنابيب وبعض الشرائح التى تستخدم فى تغطية السطوح وفى الحماية من الإشعاعات.

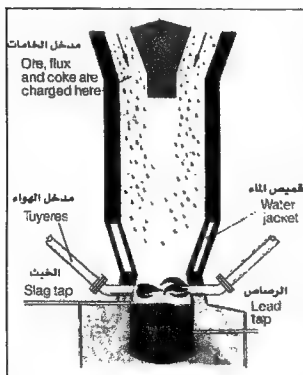
وتدخل مركبات الرصاص فى كثير من الصناعات مثل صناعة الزجاج والمطاط وبعض صناعات النسيج وفى صناعة الأصباغ وأنواع من الطلاء وفى صنع ألواح البطاريات السائلة والذخائر، والمبيدات، كما تضاف بعض مركباته مثل رابع إيثيل الرصاص إلى جازولين السيارات لرفع رقمه الاوكتانى.

والرصاص ومركباته شديدة السمية وهى تؤثر على الجهاز الهضمى، وكذلك على الجهاز العصبى المركزى.

ويحضّر الرصاص بصهر الجالينا في فرن عاكس في وجود تيار من الهواء فتأكسد الخامة من الكبريتيد إلى كبريتات الرصاص، كما يتأكسد جزء من الكبريتيد إلى أكسيد الرصاص.



وعند قطع تيار الهواء ورفع درجة الحرارة يتفاعل أكسيد الرصاص وكذلك كبريتات الرصاص مع ما تبقى من الكبريتيد لتكوين فلز الرصاص مع تصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت.



ويستخدم الفرن المفتوح في صهر خامة الرصاص عالية الجودة، والتي لا تحتوي إلا على قدر صغير من الفلزات الأخرى، وقد يتطلب الأمر تحميص الخامة أولاً في الهواء للتخلص من الكبريت، ثم تحميصها مع الكربون في وجود الجير عند احتوائها على بعض سليكات الرصاص.

ويفصل الرصاص المصهور عن الخبث، وهذا الخبث قد يحتوي على قدر كبير من فلز الرصاص، ولهذا فهو يرسل لإعادة تصنيعه في الفرن اللافتح.

ويتم تحضير الرصاص حالياً في فرن لافتح صغير مماثل للفرن اللافتح المستخدم في تحضير الحديد، ويستخدم فيه فحم الكوك وتيار من الهواء الساخن.

ولا يعالج الفرن اللافح الخبث فقط، ولكنه يستعمل كذلك لمعالجة الخامات ذات التركيز الضعيف، أو الخامات التي تحتوى على شوائب فلزية كثيرة.

ويتكون الفرن اللافح من عمود طويل، تحاط منطقة الصهر فيه بقسميص للتبريد بواسطة الماء، وتوجد بقاعه بودقة داخلية لاحتواء فلز الرصاص المنصهر. ويشحن الفرن من قمته بخليط من الخامات ومادة الصهر وفحم الكوك، ويؤدى تيار الهواء الساخن الذى يدفع من قاع الفرن، إلى اشتعال الفحم وصهر الرصاص الذى يتجمع فى البودقة الداخلية ويسحب منها كل فترة.

ويطفو الخبث على سطح الرصاص المنصهر، مكونا طبقة عليا، وقد تتكون طبقة وسطى بين طبقتى الخبث والرصاص المنصهر، تحتوى على خليط من كبريتيد الذهب، والفضة، والرصاص، والنحاس.

كذلك قد تتكون طبقة أخرى عند احتواء خامات الرصاص على نسبة لا بأس بها من الزرنيخ أو الأنتيمون، وتتكون هذه الطبقة أسفل طبقة الكبريتيدات، وفوق طبقة الرصاص المنصهر.

ويحتوى الرصاص الخام الناتج على بعض الشوائب، مثل الفضة، والأنتيمون، والحديد، والبزموت، والزرنيخ، والنحاس، والزنك، وهذه الشوائب تجعل الرصاص صلبا وقصيفا.

ويمكن التخلص من بعض هذه الشوائب مثل الزرنيخ والأنتيمون والزنك بتسخين الرصاص المنصهر فى الهواء، وذلك لأنها سريعة التأكسد وتكون أكاسيد متطايرة، ولذلك ينقل الرصاص إلى فرن خاص يعرف باسم «Drossing Kettle» لتخليصه من هذه الشوائب، ثم يحول بعد ذلك إلى تماسيح بصبه فى قوالب خاصة.

وعادة ما يحتوى الرصاص الناتج على قدر من فلز الفضة، ولا يمكن التخلص منه، بل يجب استرجاع الفضة من الرصاص بطريقة خاصة كما يلى :

## فصل الفضة من الرصاص :

لا تستخدم طرق فصل الفضة من الرصاص إلا عندما يحتوى طن الرصاص على نحو ٦٠ جراما من الفضة على الأقل، وإلا كانت هذه الطرق غير اقتصادية.

وتعرف إحدى هذه الطرق باسم طريقة «باتنسون» (Pattinson)، وهى تعتمد على أن الرصاص المنصهر عندما يبرد تدريجيا، تفصل منه أولا بلورات من الرصاص النقي تاركا ما به من شوائب فى الطبقة المنصهرة.

وعند فصل بلورات الرصاص يزداد تركيز الفضة فى الطبقة المنصهرة، ولكن هذه الطريقة لا تصلح لفصل الفضة من الرصاص إلا بعد تكرارها مرات ومرات، مما يجعلها غير اقتصادية.

وهناك طريقة أخرى تعرف باسم طريقة «باركس» (Parkes)، وهى تعتمد على أنه عند صهر الزنك والرصاص معا، يتكون منهما طبقتان تطفو إحداها فوق الأخرى. وتتكون الطبقة العليا من الزنك بنسبة ٩٨,٨٦٪، ومن قليل من الرصاص لا تزيد نسبته على ١,١٤٪، وتحتوى هذه الطبقة على أغلب الفضة الموجودة أصلا بالرصاص.

ويكفى فى هذه الطريقة استعمال قدر صغير من الزنك يصل إلى نحو ١٪ بالنسبة للرصاص، وذلك لأن الزنك يكون مع الفضة مركبا كيميائيا صيغته [Ag Zn]، ويتميز هذا المركب بأن درجة انصهاره أعلى من درجة انصهار الزنك، ولهذا فهو ينفصل على هيئة بلورات تطفو على سطح الفلز المنصهر، ويمكن فصلها.

وتفصل الفضة من هذا المركب بواسطة التقطير، كما يفصل الزنك المتبقى فى الرصاص بأكسدته بالبخار، ويباع أكسيد الزنك الناتج تحت اسم أبيض الزنك.

ورغم أن فلز الرصاص لدن إلى حد ما، إلا أنه يمكن زيادة صلابته بإضافة الزرنيخ أو فلز الكالسيوم إليه كما فى صناعة الخرطوش.

ولبعض أملاح الرصاص أهمية خاصة فى الصناعة، فتستخدم نترات الرصاص بدلا من الأمونيوم فى صنع المفرقات، وتستخدم خلاص الرصاص (أسيئات الرصاص) فى الطب وفى عمليات الصباغة، أما كرومات الرصاص القاعدية، وتعرف باسم أحمر الكروم، فتستخدم فى صنع الطلاء، كما تستخدم كربونات الرصاص القاعدية وتعرف باسم أبيض الرصاص فى صناعة أنواع من الطلاء الأبيض. وقد استعملت سليكات الرصاص فى تزجيج الفخار عند حرقه فى درجة حرارة عالية.

## استخلاص الفلزات من خاماتها

### بالتحليل الكهربائي

#### الألومنيوم

الألومنيوم فلز أبيض له لمعان الفضة، وزنه الذرى ٢٦,٩٨، وعدده الذرى ١٣، وهو ينصهر عند ٦٥٩,٧° سلزيوس، ويغلى عند ٢٤٥٠° سلزيوس.

وبعد الألومنيوم ثالث عنصر انتشارا فى قشرة الأرض بعد كل من الأكسجين والسيليكون، وتصل نسبته فيها إلى نحو ٨٪ على وجه التقريب.

ولا يوجد الألومنيوم خرا فى الطبيعة، ولكنه يوجد متحدا مع السليكا على هيئة ألومينوسيليكات كما فى «الفلسبار» *Felspar*، مثل فلسبار البوتاسيوم  $KAl[Si_3O_8]$ ، وفى أنواع المايكا مثل «المسكوفيت» *Muscovite*  $[K_2(Al_2Si_2O_6)]$ ، وفى «الكاولينيت» *Kaolinite*  $[H_4Al_2Si_2O_9]$ .

وأهم خامات الألومنيوم هو الأكسيد الذى عرف باسم البوكسيت «*Bauxite*»  $[Al_2O_3]$  لأنه اكتشف لأول مرة عام ١٨٣٠ فى منطقة بوكس بجنوب فرنسا على هيئة رواسب ضخمة.

وقد كانت هناك محاولات قديمة لتحضير فلز الألومنيوم، منها محاولة «سير همفرى دافى» العالم البريطانى الذى حاول عام ١٨٠٧ الحصول على الفلز بالتحليل الكهربائى للألومينا «أكسيد الألومنيوم» ولكن محاولاته لم تكلل بالنجاح، ويعتقد أنه أول من أطلق على هذا الفلز اسم الألومنيوم.

وفى عام ١٨٢٥ تمكن العالم الدنمركى «أورستد» أن يحول الألومينا إلى ملح الكلوريد، وكان بذلك أول من حضر كلوريد الألومنيوم  $[AlCl_3]$ ، وحاول أن يختزل هذا الملح بفلز البنتواسيوم حيث يتكون كلوريد البنتواسيوم وينفصل الألومنيوم، ويقال أنه نجح فى ذلك مرة واحدة فقط.

وقد نجح فى ذلك العالم الألمانى «فوهلر» «Wohler» عام ١٨٢٧ وتمكن من الحصول على مسحوق رمادى، يعتقد أنه فلز الألومنيوم.

ولم تعرف الخواص الكيميائية والفيزيائية للألومنيوم إلا عام ١٨٤٥ عندما أدخل الكيميائى الفرنسى «هنرى ديفل» تحسينا على طريقة فوهلر حيث استخدم فلز الصوديوم بدلا من فلز البوتاسيوم لاختزال الكلوريد المزدوج  $[Na Al Cl_4]$  المعروف بكلوريد الصوديوم والألومنيوم.

وقد عرض الألومنيوم لأول مرة عام ١٨٥٥ فى المعرض العالمى بباريس على شكل قطع تزن كل منها نحو كيلوجرام، وكان غالى الثمن ويعلم فلزا ثمينا ويمتاز بخفة غير عادية فى الوزن.

وقد كانت هناك عدة محاولات لاختزال أكسيد الألومنيوم بواسطة الكربون كما فى طريقة الفرن اللاص لصناعة الحديد، ولكن هذه الطريقة لم تنجح لارتفاع درجة حرارة انصهار الأكسيد، كذلك لم تنجح طريقة التحليل الكهربائى فى فصل الأكسجين عن الفلز.

وقد نجح بعد ذلك طالبان حديثا السن فى حل مشكلة استخلاص الألومنيوم من أكسيده، وهما «بول هيرو» من فرنسا، و«شارل هول» من الولايات المتحدة، وفعلا ذلك فى نفس الوقت تقريبا، فقد اكتشفا أن خلط الألومينا مع الكرايوليت «Cryolite» يخفض من درجة انصهار الألومينا من نحو ٢٠٠٠ سلزيوس إلى نحو ١٠٠٠ سلزيوس على وجه التقريب.

وقد عرفت هذه الطريقة فيما بعد بطريقة «هول - هيرو» «Hall - Herault» وهى الطريقة التى سجلت عام ١٨٨٦، وما زال العمل مستمرا بها حتى الآن مع بعض التعديلات الطفيفة.

وتتلخص الطريقة المستخدمة حاليا فى إجراء عملية التحليل الكهربائى فى وعاء من الحديد مبطن ببطانة من الكربون تعمل عمل القطب السالب «الكاثود»، ويتدفق فى قلب هذا الوعاء عدة أقطاب موجهة تعمل عمل الأنود، وتتكون هذه الأقطاب كذلك من الكربون.

ويوضع فى هذا الجهاز أولا الكرايوليت، وهو فلوريد مزدوج من الصوديوم والالومنيوم  $[Na_3 Al F_6]$  ثم يمرر التيار الكهربائى لصهر الكرايوليت الذى يستخدم كمحلول للبوكسيت، ثم يضاف بعد ذلك مزيج من كلوريد الصوديوم والبوكسيت.

وتكفى الحرارة الناتجة من مرور التيار الكهربائى عند قوة دافعة لا تزيد على ٥ - ٧ فولت، للاحتفاظ بكتلة التفاعل فى حالة انصهار، ويفصل الالومنيوم ويسقط إلى قاع الجهاز حيث يمكن سحبه كل فترة وصبه فى قوالب، مع إضافة مزيد من الالومينا كل مدة محسوبة، لتعويض ما يفقد منها بالتحليل.

ويفضل استعمال كرايوليت نقى فى هذه العملية، بحيث يكون خاليا من الحديد ومن السليكا حتى لا تنتقل الشوائب إلى فلز الالومنيوم الناتج، وقد يحضر الكرايوليت صناعيا خصيصا لاستعماله فى هذا الغرض.

كذلك يجب نقية الالومينا «البوكسيت» قبل استعمالها، ويتم ذلك عادة بإذابة البوكسيت فى هيدروكسيد الصوديوم حيث يكون أكسيد الالومنيوم معها ألومينات الصوديوم الذائبة فى الماء، على حين تبقى أكاسيد الحديد وغيرها من الشوائب على هيئة راسب يمكن فصله.

ويمكن ترسيب الالومينا فى حالة نقية من هذا المحلول بإمرار غاز ثانى أكسيد الكربون فيه لتكوين كربونات الالومنيوم التى تتحلل مائيا إلى هيدروكسيد الالومنيوم.

ويفضل عادة ترك محلول ألومينات الصوديوم المركز جانبا حيث تتحول الألومينات إلى ألومينا، على حين يبقى فى المحلول هيدروكسيد الصوديوم الذى يمكن إعادة استخدامه مما يحسن اقتصاديات هذه الطريقة.

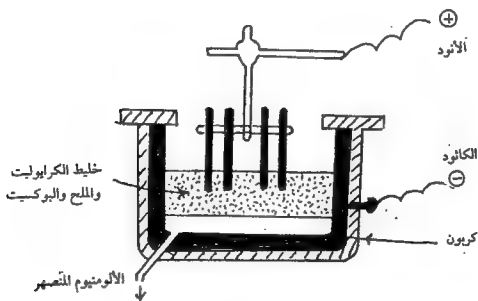
ويلاحظ أن بعض الكرايوليت يتحلل عند إمرار التيار الكهربائى ويتصاعد غاز الفلور عند الأنود، ويتفاعل مع الكربون الذى تتكون منه هذه الأقطاب، ويهرب على هيئة رابع فلوريد الكربون، مما يؤثر على صلاحية عملية التحليل الكهربائى.



وهذا هو السبب فى إضافة بعض كلوريد الصوديوم إلى خليط التفاعل ، لأن غاز الفلور بدلا من تصاعده عند أقطاب الأنود، يحل محل ذرات الكلور فى الملح، ويظل بذلك فى وسط التفاعل.

ويلاحظ كذلك أن الأكسجين يتصاعد عند أقطاب الأنود التى تتحول إلى ثانى أكسيد الكربون، وبذلك تستهلك هذه الأقطاب ويجب استبدالها من حين لآخر.

وتحتاج عملية التحليل الكهربائى إلى مصدر رخيص للكهرباء حيث إن إنتاج كيلوجرام واحد من الألومنيوم يحتاج إلى نحو ٢٥ كيلووات من الكهرباء، ولذلك تقام مصانع الألومنيوم بجوار الخزانات ومحطات الكهرباء، كما فى جمهورية مصر العربية حيث يستفاد من كهرباء السد العالى فى إدارة مصنع الألومنيوم.



#### تحضير الألومنيوم بالتحليل الكهربائى

ويستخدم أكسيد الألومنيوم المحتوى على شوائب من أكاسيد بعض الفلزات الأخرى، فى صنع الحلى مثل السفير «Saphire» الأزرق أو الياقوت الأحمر، أما الأنواع غير الجيدة من الأكسيد فتستخدم فى عمليات الصنفرة باسم «كورندوم» «Corundom».

ويستعمل هيدروكسيد الألومنيوم الجيلاتيني في الطب، على حين تستعمل الشب «Alum» في الصباغة وفي تنقية المياه.

ويتكون الطفل من سليكات الألومنيوم المهدتة، وعند تسخينه إلى نحو ٩٠٠° سلزيوس تنصهر بعض مكوناته ويتماسك متحولاً إلى مادة جامدة كالحجر يطلق عليها الفخار، وعند تسخينه إلى درجات حرارة أعلى من ذلك يصنبح زجاجياً في مظهره.

أما أنواع الطفل الخالية من الحديد مثل الكاولين فهي تعرف باسم طفل الصيني «China clay»، وهي تستخدم في صنع البورسلين بصورها مع الكوارتز ومادة صهر «Fritt» تتكون من الفلسبار وتحتوى على الجير والبوتاسا.

كذلك تستخدم سليكات الألومنيوم الخالية من أكاسيد المغنسيوم والكالسيوم في صنع الطوب الحرارى لتبطين الأفران، وهي تعطى ما يعرف بالأترامارين رقائق اللون عند تسخينها مع كربونات وكبريتات الصوديوم والفحم والكبريت.

### المغنسيوم

المغنسيوم فلز أبيض لامع، وزنه الذرى ٢٤,٣٠٥، وعدده الذرى ١٢، وهو ينصهر عند ٦٥١°، ويغلى عند ١١٠٧° سلزيوس.

وقد اكتشف المغنسيوم بواسطة سير همفرى ديفى عام ١٨٠٨، وهو أخف من فلز الألومنيوم إذ يبلغ وزنه النوعى ١,٧٥ على حين يبلغ الوزن النوعى للألومنيوم ٢,٧.

ولا يوجد المغنسيوم حراً في الطبيعة ولكنه يتشر في قشرة الأرض على هيئة بعض أنواع السليكات، كما يوجد في معدن الدولوميت «Dolomite» وهو عبارة عن كربونات المغنسيوم والكالسيوم  $[Mg Ca C_2 O_6]$ ، كما يوجد على هيئة كربونات في معدن المغنيسيت «Magnisite»  $[Mg CO_3]$ .

ولا يمكن تحضير المغنسيوم باختزال أكسيده بواسطة الفحم، كما في حالة الحديد، كما لا يمكن اختزاله بواسطة غاز الهيدروجين، لأن أكسيده عالى الثبات.

وكان المغنسيوم يصنع من الكارناليت «Carnalite»، وهو عبارة عن كلوريد مزدوج من كل من المغنسيوم والبوتاسيوم  $[K Mg Cl_3]$ ، وذلك بصهره مع فلز الصوديوم، ويتكون في هذا التفاعل كلوريد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم وينفصل فلز المغنسيوم.



وقد استبدلت هذه الطريقة فيما بعد بطريقة التحليل الكهربائي فيصهر الكارناليت عند درجة حرارة تقل عن  $700^\circ$  سيلزيوس، وذلك في وعاء من الحديد يكون هو القطب السالب أى الكاثود، ويكون فيه القطب الموجب أى الأنود من الكربون.

ويوضع الأنود داخل أسطوانة من البورسلين يجمع فيها غاز الكلور المتصاعد عند الأنود، على حين يرسب فلز المغنسيوم إلى قاع وعاء الحديد. ويجمع فلز المغنسيوم بعد فصله عن الكارناليت، ويعاد صهره ثم يصب في قوالب.

كذلك استخدم في تحضير المغنسيوم خليط من الفلوريدات مثل فلوريد المغنسيوم  $Mg F_2$  وفلوريد الصوديوم  $Na F$ ، وعوملت بالتيار الكهربائي بأسلوب مماثل للأسلوب المتبع في تحضير الألومنيوم.

وهناك طريقة أخرى استعملت في كندا لتحضير المغنسيوم من الأكسيد، وهي تعرف باسم الطريقة الكهربائية الحرارية «Electrothermal» وهي تتضمن اختزال أكسيد المغنسيوم بالكربون أو الفروسليكون عند درجة حرارة  $2000^\circ$  سيلزيوس، في فرن كهربائي.



ويلاحظ أن التفاعل عكسي، ولهذا يتم تبريد نواتج التفاعل سريعا بواسطة رذاذ من الزيت الثقيل منعا لحدوث التفاعل العكسي وإعادة تكوين الأكسيد.

وفلز المغنسيوم الناتج بهذه الطريقة نقي جدا وتصل نسبته إلى نحو ٩٩,٨٪، ولا تستهلك هذه الطريقة إلا عشر القوة الكهربائية اللازمة لتحضير الفلز من مصهور الخامات بطريقة التحليل الكهربائي.

ويحضر المغنسيوم حاليا من مياه البحر التي تحتوى على نحو ١٣ ٪ ، وهي مصدر لا ينفد من المغنسيوم.

ويحضر المغنسيوم فى هذه الطريقة بترسيبه من مياه البحر على هيئة هيدروكسيد بواسطة الجير (أكسيد الكالسيوم الذى يتحول إلى هيدروكسيد عند إضافته إلى ماء البحر).

ويرشح هيدروكسيد المغنسيوم الناتج، ثم ينقل بعد ذلك إلى وعاء خاص يحتوى على حمض الهيدروكلوريك، فيتحول إلى كلوريد المغنسيوم سهل الذوبان فى الماء. وينقل محلول كلوريد المغنسيوم إلى مبخرات خاصة، ويبخر فيها إلى درجة الجفاف تقريبا، ثم يجفف الملح الناتج فى أفران خاصة.

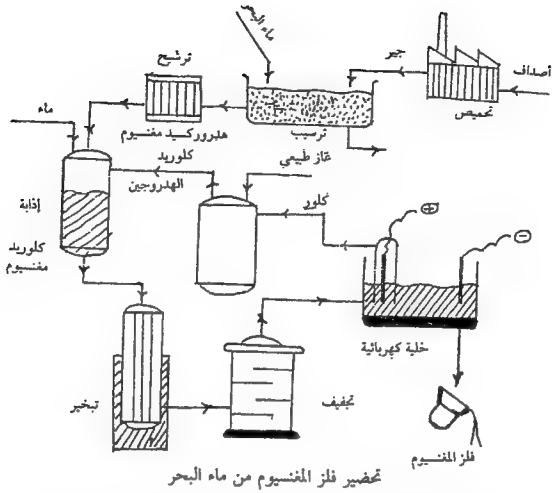
وتم تحليل كلوريد المغنسيوم فى خلية كهربائية خاصة، حيث يتحلل إلى عناصره فيتجمع المغنسيوم عند الكاثود، ويتصاعد غاز الكلور عند الأنود، ويفصل المغنسيوم الناتج ويصب فى قوالب.

أما غاز الكلور الذى يتصاعد عند الأنود فيجمع بواسطة أنبوبة من البورسلين تحيط بالأنود، ويوجه بعد ذلك إلى وعاء خاص يتم فيه مفاعله مع غاز الهيدروجين لتكوين غاز كلوريد الهيدروجين الذى يستعمل فى تكوين الحمض المستخدم فى إذابة هيدروكسيد المغنسيوم بعد خطوة الترسيب، مما يحسن من اقتصاديات هذه الطريقة.

ويضاف إلى ذلك أن الجير المستخدم فى عملية الترسيب فى الخطوة الأولى، يحصل عليه بتحميمص أصداف البحر فى أفران خاصة، مما يساعد أيضا على خفض تكاليف نقل الخامات، حيث إن العملية الصناعية بأكملها تتم بجوار البحر وفى مكان واحد.

ويشتعل المغنسيوم فى الهواء بضوء مبهر، ولهذا يستعمل فى صنع مختلف أنواع الشعلات، كما يستعمل مخلوطا من مسحوق الفلز وكلورات البوتاسيوم مصدرا للضوء فى عمليات التصوير الضوئى.

ويتصف أكسيد المغنسيوم بشبائه وهو لا ينصهر إلا عند ٢٨٠٠° سيزيوس ولهذا يستعمل فى بناء الأفران فى عمليات استخلاص الفلزات من خاماتها، كما تصنع منه البواشق وغيرها.



وللمغنسيوم أملاح هامة مثل كبريتات المغنسيوم وتعرف باسم ملح «إيسوم» وتستعمل كمادة طاردة، كما أن سليكات المغنسيوم هي أهم مكونات حجر الطلق. على حين أن سليكات المغنسيوم والكالسيوم هي أهم مكونات الأسبتوس. ويستعمل كذلك خليط من أكسيد المغنسيوم وكلوريد المغنسيوم الجاف لصنع مادة لاصقة تعرف باسم أسمنت سوريل «Sorel's cement». أما كلوريد المغنسيوم وحده فيستعمل في عمليات الغزل والنسيج.

## استخلاص الفلزات من خاماتها

### بطريقة الإلغام

#### الذهب

الذهب فلز أصفر لامع، وزنه الذرى ١٩٦,٩٦٧، وعدده الذرى ٧٩، ينصهر عند ١٠٦٣°، ويغلى عند ٢٧٠٠° سلتريوس.

وقد عرف الذهب منذ زمن قديم، وهو يتميز بمقاومته للتأكسد ولعمل الأحماض، ولهذا استخدم فى صنع بعض العملات وفى صنع أنواع من الحلى، وفى عمليات الطلاء الكهربائى.

والذهب فلز لين، ولهذا لا يصلح وحده لصنع العملات، ولكنه يستخدم فى صنعها مع النحاس أو الفضة، وهو قابل للطرق والسحب، فيمكن طرقه إلى رقائق لا يزيد سمكها على ٠,٠٠١ من الملليمتر، وهى تستخدم فى تغليف الخشب وبعض الفلزات الأخرى. كذلك يمكن سحبه إلى أسلاك رفيعة جدا، حيث يمكن سحب جرام واحد منه إلى سلك طوله ٣٢٤٠ مترا.

ويغلب أن يوجد الذهب فى الطبيعة فى حالته الحرة، وقد يوجد على هيئة مركب يعرف باسم تلوريد الذهب  $[Au Te_2]$ ، كما قد يوجد فى بعض خامات الفضة والنحاس وغيرها.

ويوجد الذهب عادة فى ثنايا عروق المرو، وعند تفتيت هذه الصخور بالماء يتحول الذهب إلى حبيبات ودقائق صغيرة جدا، ولهذا يوجد عادة الذهب فى رمال الأنهار الضحلة.

ويحتوى الذهب فى أغلب الأحوال على نسبة من فلز الفضة، وتتراوح هذه النسبة بين ٠,٥% ونحو ٣٥% فى بعض الأحوال، وتعتمد هذه النسبة على المصدر الذى يحصل منه على الذهب.

ويمكن الحصول على الذهب بإحدى الطرق الآتية :

#### طريقة الغسيل :

تطبق هذه الطريقة عند فصل حبيبات الذهب عن الرمال عند وجودها في المياه الضحلة للأنهار، وتعتمد هذه الطريقة على الوزن النوعي الكبير لحبيبات الذهب الذي يصل إلى نحو ١٩، أو نحو ١٧، إذا ما احتوت هذه الحبيبات على بعض الفضة بالمقارنة بالوزن النوعي للرمال والحصى الذي لا يزيد على ٢,٧.

ويوضع خليط حبيبات الذهب والرمال وفتات الصخور في أوان ضحلة، ثم تهز مع الماء في حركة دائرية فتسبب حبيبات الذهب الثقيلة في قاع الإناء بينما يتم التخلص من الشوائب الأخرى والرمال.

وقد استخدمت هذه الطريقة بواسطة الباحثين عن الذهب في القرن الماضي في الولايات المتحدة وغيرها.

#### طريقة الإلغام :

تعتمد هذه الطريقة على فصل الذهب على هيئة ملغم مع فلز الزئبق. وتندق الحاماة في هذه الطريقة بعدة مطارق آلية في صندوق من الحديد مثل الهاون، وتكون إحدى جوانبه على هيئة شبكة دقيقة الفتحات.

ويستمر الدق في وجود قدر صغير من الماء حتى تتحول الحاماة إلى عجينة نصف سائلة تشبه الوحل، وتؤدي ضربات المطارق إلى تناثر أجزاء من هذه العجينة لترتطم بسطح الشبكة الجانبية. وتتحكم هذه الشبكة في حجم الحبيبات فهي تسمح فقط بمرور الحبيبات الدقيقة وتمنع مرور الحبيبات الكبيرة، التي تعود إلى الهاون مرة أخرى لإعادة دقها.

ويسمح للحبيبات التي مرت من الشبكة بالانسياب على سطح صفائح رقيقة من ملغم النحاس المغطى بطبقة رقيقة من فلز الزئبق، حيث تتحد معه مكونة ملغما.

ويكشط ملغم الذهب كل مدة من فوق هذه الصفائح، ثم يضغط للتخلص من الزيادة من فلز الزئبق، وينقل الملغم إلى بودقة من الحديد يقطر فيها الزئبق الذي يعاد استخدامه من جديد، ويتبقى الذهب على هيئة كتل أسفنجية.

وتنقل هذه الكتل الإسفنجية بعد ذلك إلى بودقة من الجرافيت، ويضاف إليها بعض البوراكس كمادة للصر، وتسخن إلى درجة حرارة عالية فتتحد مادة الصهر بالشوائب وتطفو على سطح الذهب المنصهر، الذى يسحب بعد ذلك ويصب فى قوالب.

#### طريقة السيانيد :

تعالج بهذه الطريقة خامات الذهب الخالية من الكبريتيدات، وتسحق فيها الحامة أولا إلى حبيبات دقيقة، ثم تعالج بمحلول مخفف من سيانيد البوتاسيوم، أو سيانيد الصوديوم لا يزيد تركيزه على ١٪، مع إمرار تيار من الهواء فى المحلول ويتكون بهذه الطريقة أورو سيانيد البوتاسيوم [سيانيد الذهب والبوتاسيوم]، الذى يبقى ذائبا فى الماء.



سيانيد الذهب والبوتاسيوم.

ويمرر محلول سيانيد الذهب والبوتاسيوم فى أوعية خاصة تحتوى فى داخلها على أرفق أو صوانى من الزنك، الذى يتفاعل مع محلول السيانيد ويرسب الذهب فى قاع الإناء، ويفصل الذهب بعد ذلك، ثم يغسل بالماء، ويرشح ويجفف، ثم يصهر ويصب فى قوالب.

ويمكن استبدال شرائح أو صوانى الزنك فى هذه الطريقة باستخدام تراب الزنك الذى يقوم بنفس العمل.

كذلك يمكن ترسيب الذهب من محلول سيانيد الذهب والبوتاسيوم بإمرار تيار كهربائى فى المحلول بين أنود من الحديد، وكاثود من الرصاص. وتتجه أيونات السيانيد ذات الشحنة السالبة إلى الأنود، حيث تتفاعل مع الحديد مكونة أزرق بروسيا، على حين تترسب أيونات الذهب على سطح رصاص الكاثود.

وعند انتهاء العملية يصهر كاثود الرصاص عند درجة حرارة عالية، فيتطاير الرصاص ويتبقى فلز الذهب.



### طريقة الكلورة :

تستخدم هذه الطريقة لفصل الذهب عن الكبريتيدات، أو لفصله من مركب الكلوريد، وتحمص الخامة أولاً لإزالة الكبريت والزرنيخ، ثم توضع بعد ذلك فى أوعية واسعة مغطى سطحها الداخلى بمادة عازلة (كان القار يستخدم فيما مضى)، ويضاف إليها قدر صغير من الماء، ثم يمرر بها تيار من غاز الكلور، حيث يتحول الذهب إلى كلوريد الذهب، ويسب منه الذهب بعد ذلك بواسطة كبريتات الحديدوز.

وتحتاج هذه العملية إلى وقت طويل قد يصل إلى نحو ٣٦ ساعة، ويمكن اختصار هذا الوقت بإجراء الكلورة فى أسطوانات مبطة بالرصاص وتدور حول محورها، وتخلط فيها الخامة بمسحوق قصر الألوان وبحمض مخفف لتكوين غاز الكلور. ويلاحظ أن عملية الكلورة فى هذه الحالة تتم تحت الضغط ولا تستغرق أكثر من ساعتين.

### تنقية الذهب :

يحتوى الذهب الناتج من العمليات السابقة على قدر ما من فلز الفضة، قد يصل أحيانا إلى نحو ١٥٪ بالوزن.

ويمكن فصل الفضة عن الذهب بواسطة غاز الكلور، فيصهر الذهب فى بودقة من الطفل مغطى سطحها الداخلى بطبقة من البوراكس، ثم يمرر فيها تيار من غاز الكلور الذى يتحد بالفضة مكونا كلوريد الفضة.

ويطفئو كلوريد الفضة على سطح الذهب المنصهر، ويمكن فصله. ومن الملاحظ أن الذهب لا يكون كلوريدا عند هذه الدرجة. لأن كلوريد الذهب يتحل عند ٢٠٠° سيزوس، ولهذا يبقى الذهب بحالته الفلزية.

وتصلح هذه الطريقة للتخلص من بعض الفلزات الأخرى التى قد تكون مختلطة بالذهب، مثل البزموت، والزرنيخ، والأنثيمون، فهى تتحول إلى كلوريداتها التى تتطاير عند درجة الحرارة المستخدمة فى صهر الذهب. وتصل نقاوة الذهب المحضر بهذه الطريقة إلى ٩٩,٧٪.

ويمكن فصل الفضة عن الذهب بواسطة الأحماض وخاصة إذا كان بالذهب نسبة عالية من الفضة، فيذاب الخليط في حمض الترريك حيث تذوب الفضة مكونة نترات الفضة، ويتبقى الذهب بحالته الفلزية.

كذلك يمكن تنقية الذهب بالتحليل الكهربائي لمحلول ساخن من كلوريد الذهب، ويضاف إلى المحلول قدر صغير من حمض الهيدروكلوريك المركز، وقدر صغير آخر من حمض الكبريتيك. وعند إمرار التيار الكهربائي في المحلول تتكون طبقة من الذهب النقي على سطح الكاثود، على حين تتكون رواسب من كل من كلوريد الفضة وكبريتات الرصاص في قاع خلية التحليل. وفي حالة احتواء الذهب على قدر ما من البلاتين، فإن البلاتين في هذه الحالة يبقى في المحلول.

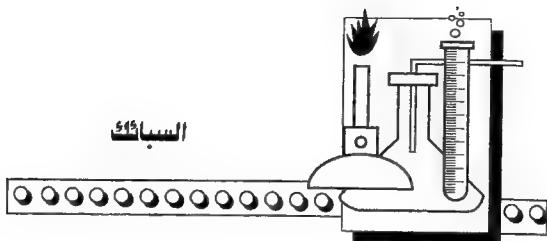
### الذهب الغروي :

يمكن الحصول على الذهب على هيئة غرواني بتسخين محلول مخفف من كلوريد الذهب مع الفورمالدهيد وكمية صغيرة من كربونات البوتاسيوم، ويتلون المحلول في هذه الحالة بلون أحمر زاه وهو لون جسيمات الذهب الغروانية، وهذا المحلول شديد الثبات ولا يتأثر بالحرارة حتى أنه يمكن تركيزه بالغليان.

وإذا أضيف أحد الإلكتروليتات [أحد المواد المتأينة] إلى المحلول الغرواني السابق، تبدأ الجسيمات الغروانية للذهب في التجمع بشكل ما، ويتحول لون المحلول الغرواني من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي الضارب إلى الزرقة.

كذلك يتحول لون المحلول الغرواني للذهب عند إضافة حمض إليه، من الأحمر إلى الأزرق، ويعود لون المحلول إلى الأحمر مرة أخرى عند إضافة إحدى القلويات إليه، وهو يشبه في هذا السلوك مجموعة الدلائل المستخدمة في عمليات المعايرة. ويرجع تغير لون محلول الذهب الغرواني إلى تغير تركيب جسيمات الذهب الغروانية في كل من الوسط الحمضي والوسط القلوي.





- سباتك النحاس - سباتك الألومنيوم  
 سباتك النيكل - سباتك الرصاص  
 سباتك القصدير - سباتك البزموت  
 سباتك الفضة - سباتك الذهب  
 سباتك الحديد .





## السبائك

لو أن الأمر اقتصر على استخدام الفلزات المعروفة فقط فى الصناعة، لاصيبت الصناعة بنقص شديد فى الخامات التى تصنع منها الأدوات والمعدات المستخدمة فى الإنتاج الصناعى.

وقد أمكن التغلب على هذه المشكلة بخلط بعض الفلزات الهامة ببعض الفلزات الأخرى، أو ببعض اللافلزات، للحصول على أنواع متعددة من الأنظمة الفلزية التى تعرف باسم السبائك أو الأشابات، واستخدمت هذه السبائك فى تصنيع أنواع مختلفة من المشغولات والمعدات التى استخدمت فى مختلف الأغراض.

والسبائك عبارة عن خليط متجانس أو محلول جامد من فلزين أو أكثر، أو من فلز ولا فلز، يقبلان الذوبان معا عند صهرهما، ولا ينفصلان إلى طبقتين عند تحويلهما إلى مادة جامدة.

وتتكون بعض هذه السبائك بصهر فلزين معا بأى نسبة مطلوبة ثم تركهما يتجمدان معا. وقد تتكون بعض هذه السبائك بصهر مجموعة من الفلزات معا، ولكن واحدا من هذه الفلزات يكون هو المكون الرئيسى للسبيكة.

وتتكون السبائك التى من هذا النوع بالنسبة للفلزات التى تتساوى حجوما ذراتها إلى حد كبير، فهى تكون محاليل يذوب بعضها فى البعض الآخر، ومن أمثلتها النحاس والفضة، والذهب والفضة، والحديد والنيكل، والصلبديوم واليوتاسيوم.

وقد تتكون السبيكة فى بعض الحالات نتيجة لتكون مركب كيميائى من نوع ما بين فلزين، وعادة ما يحدث ذلك عندما يختلف كل فلز عن الآخر اختلافا كبيرا فى خواصه الكيميائية، ومثال ذلك تلك المركبات التى تتكون بين كل من

النحاس والالومنيوم مثل  $[Cu_3 Al]$  أو  $[Cu_9 Al_4]$ ، ومن الملاحظ أن النسبة بين فلزى النحاس والالومنيوم فى هذين المركبين ليست هى النسبة التى تتوقعها من التكافؤ الكيميائى لكل منهما فى مركباتهما المعتادة.

وهناك نوع آخر من السبائك يعرف باسم «سبائك التداخل»  $[Interstitial Alloys]$ ، وهى تتكون بتداخل بعض الذرات صغيرة الحجم نسبياً، من الفلز أو اللافلز، فى الفراغات البينية لفلز آخر، ومن أمثلتها كريد التيتانيوم  $[TiC]$  أو كريد التنجستن  $[WC]$ .

ويؤدى تكوين السبيكة إلى تغيير الخواص الميكانيكية للفلز، ويعتمد تكوين السبيكة فى بعض الأحيان على درجة الحرارة، ففى حالة الزنك والرصاص يذوب أحدهما فى الآخر، ولكن تتكون من مصهورهما طبقتان عند درجة ٩٣٥ سلزبوس، وكذلك تتكون طبقتان من مصهور الزنك والبيزموت فى درجة حرارة أقل من ٨٣٠ سلزبوس.

وبصفة عامة، فإن الفلزات ذات درجات الانصهار المنخفضة مثل الرصاص والبيزموت والقصدير، لا تختلط بجميع النسب مع الفلزات الأخرى ذات درجات الانصهار الأعلى منها، مثل الكروم والحديد والكوبالت والنيكل وغيرها.

كذلك يمكن لبعض اللافلزات مثل الكربون، والأكسجين، والفوسفور والكبريت، والسليكون، أن تذوب فى الفلز المنصهر، وهى قد تسبب فى تحسين صفات الفلز الأصلى، أو قد تؤدى إلى خفض صفاته بشكل ظاهر فى بعض الحالات.

وعندما تكون الصلادة والمتانة هى الصفات المطلوبة، يفضل اختيار سبائك تحتوى على مركب كيميائى بين الفلزين، أو بين الفلز واللافلز، ولهذا تستعمل مثل هذه السبائك التى تحتوى على مركب ذائب فى نسيج من الفلز اللدن، فى صنع المحاور وفى صنع كثير من المنتجات الفلزية التجارية الأخرى.

وفىما يلى بعض أنواع السبائك الهامة، وهى تصنف طبقاً لنوع الفلز الذى يوجد بنسبة أعلى من غيره فى السبيكة.

## سبائك النحاس :

يشترك النحاس مع عدد كبير من الفلزات فى تكوين سبائك متعددة تستخدم فى كثير من الأغراض، ومن بين هذه الفلزات الألومنيوم والرصاص والقصدير والزنك والمنجنيز والنيكل والذهب، وهى كما يلى :

### ١- برونز الألومنيوم Aluminium Bronze :

تتكون هذه السبيكة من نحو ٩١٪ نحاس، ونحو ٩٪ من الألومنيوم، وهى تتصف بمقاومتها للتآكل خاصة بمياه البحر.

### ٢- برونز العملة Coinage Bronze :

سبيكة تتكون من ٨٥٪ نحاس، و٤٪ قصدير، ونحو ١٪ زنك، وقد تحتوى على إضافات أخرى أو تتغير نسب هذه الفلزات بها، وهى تستخدم فى صنع العملات صغيرة القيمة.

### ٣- البرونز اللين Soft Bronze :

يتكون من ٨٥٪ من النحاس، ونحو ٨ - ١٢٪ قصدير، وقليل من الزنك.

### ٤- البرونز الفوسفورى Phosphor Bronze :

تتكون هذه السبيكة من نحو ٨٢٪ نحاس، ونحو ١٢,٥٪ قصدير، ونحو ٤٪ رصاص، ونحو ١,٥٪ فوسفور، وهى تقاوم العوامل الجوية ولا تصدأ.

### ٥- برونز المنجنيز Manganese Bronze :

سبيكة تحتوى على ٦٠٪ نحاس، و٤٠٪ زنك، ونحو ١٪ منجنيز، و١٪ قصدير وحديد، وهى فى متانة وقوة شد الصلب، ومضادة للتآكل.

### ٦- سبيكة العملة Coinage Alloy :

تتكون من النحاس بنسبة ٧٥٪، ومن النيكل بنسبة ٢٥٪، وتصنع منها العملة متوسطة القيمة.



## ٧ - المنجانين Manganin :

سبيكة تتكون من ٨٤٪ نحاس، و ١٢٪ منجنيز، و ٤٪ نيكل.

## ٨ - كونستانتان Constantan :

تتكون هذه السبيكة من نحو ٦٠٪ من النحاس، ونحو ٤٠٪ من النيكل، وهي تستعمل في صنع صناديق المقاومة، وفي صنع بعض أدوات قياس درجات الحرارة.

## ٩ - الفضة الألمانية German Silver :

تتكون من ٥٧٪ من النحاس، ونحو ٣٦٪ من الزنك، ونحو ٧٪ من النيكل، ولها مظهر فلز الفضة.

## ١٠ - الفلز الأبيض White Metal :

تتكون من نحو ٥٠٪ من النحاس، ونحو ٢٠٪ من الزنك، ونحو ٣٠٪ من النيكل، ولها مظهر فلز الفضة.

## ١١ - الصفّر Brass :

سبيكة من نحو ٤٠٪ نحاس، ونحو ٦٠٪ من الزنك، وهي صفراء اللون ولذلك تعرف باسم النحاس الأصفر، وهي تقاوم فعل العوامل الجوية.

## ١٢ - فلز دلتا Delta Metal :

سبيكة تتكون من نحو ٥٥٪ نحاس، ونحو ٤٣,٥٪ من الزنك، ونحو ١٪ من الحديد، ونحو ٤٪ من الرصاص، ونحو ١,٠٪ من الفوسفور، وهي شديدة الصلابة وتقاوم الصدأ، وتصنع منها مراوح محركات السفن وبعض المعدات الأخرى.

## ١٣ - فلز الأجراس Bell Metal :

سبيكة من النحاس الأصفر بها نحو ١٢ - ٢٤٪ من القصدير، تتميز بصلابتها وإصدارها للرنين عند طرقها، وتصنع منها الأجراس الضخمة، وهي تعرف كذلك باسم «البرونز الصلب» «Hard Bronze».

#### ١٤ - صُفْر الطلقات Cartridge Brass :

سبيكة من نحو ٧٠٪ نحاس، ونحو ٣٠٪ زنك، لها القدرة على مقاومة التشوه وتحمل الشد.

#### ١٥ - الفلز الهولندي Dutch Metal :

سبيكة من نحو ٨٠٪ نحاس، ونحو ٢٠٪ زنك، ولها لون الذهب، ولذلك تصنع منها بعض الحلى رخيصة الثمن.

#### ١٦ - فلز مونتز Muntz Metal :

سبيكة تتكون من نحو ٦٠٪ نحاس، ونحو ٤٠٪ زنك، وهي جامدة في حالتها الباردة، ولكنها تصبح لدنة عند تسخينها، ويمكن ثنيها بالحرارة عند احتوائها على نحو ١٪ من الرصاص، وهي تقاوم التآكل.

#### ١٧ - نحاس الصب Cast Brass :

سبيكة تماثل فلز مونتز، ولكنها تتكون من نحو ٦٦٪ من النحاس، ونحو ٣٣٪ من الزنك، تستعمل في صنع كثير من الأدوات عن طريق الصب.

#### ١٨ - صُفْر الألومنيوم Aluminium Brass :

سبيكة من النحاس قد تحتوى على ٥٠ - ٧٠٪ من النحاس وعلى نحو ٤٨ - ٣٠٪ من الزنك، ويضاف إليها نحو ٢٪ من فلز الألومنيوم، مما يجعلها شديدة الصلابة، وتصل قوة شدّها إلى نحو ٣٠ طناً على البوصة المربعة، وهي تقارب قوة شد الصلب، وهي لا تفقد مرونتها ولا قابليتها للسحب عند شدّها.

#### ١٩ - فلز المدافع Gun Metal :

سبيكة من النحاس والقصدير، قد تحتوى على ٨ - ١٢٪ من القصدير وتزداد صلابتها كلما زادت بها نسبة القصدير، كما أن زيادة نسبة القصدير بها تقلل كثيرا من قابليتها للسحب، وتصنع منها بعض الأدوات وتروس الآلات.

## سبائك الألومنيوم

يكون الألومنيوم سبائك هامة مع بعض الفلزات مثل النحاس والمنجنيز والمغنسيوم، أهمها :

### ١ - الديورالومين Duralumin :

سبيكة تتكون من نحو ٩٥٪ من الألومنيوم، ونحو ٤٪ من النحاس، ونحو ٥,٠٪ من المنجنيز، ونحو ٥,٠٪ من المغنسيوم، ولا تزيد كثافتها على كثافة الألومنيوم، وهى سبيكة هامة تقاوم التآكل وتستخدم فى صنع بعض المعدات وأدوات الطهى وغيرها.

### ٢ - المانجالوم Mangnalum :

سبيكة تتكون أساسا من الألومنيوم، وتحتوى على نسبة من المغنسيوم تتراوح بين ٢ - ١٠٪. وهى أخف وزنا من فلز الألومنيوم وتشبه الصُّفْر فى خواصها الميكانيكية.

### ٣ - سبيكة الألومنيوم والزنك :

سبيكة تتكون من نحو ٨٣٪ من الألومنيوم، ونحو ١٣٪ من الزنك، ونحو ٣٪ من النحاس، ونحو ١٪ من الحديد، وتتميز بصلابتها، وتستخدم فى صنع علبة التروس.

## سبائك النيكل

يكون النيكل سبائك مع الحديد والنحاس والمنجنيز والكروم، أهمها ما يلى :

### ١ - فلز مونيل Monel Metal :

سبيكة تتكون من نحو ٦٦٪ من النيكل، ونحو ٣١٪ من النحاس، ونحو ١,٥٪ حديد، ونحو ١,٥٪ من المنجنيز، كما تحتوى على قدر صغير من كل من الكربون والسليكون. وهى تستخدم فى صنع كثير من الأدوات والمعدات.

## ٢- سبيكة النيكروم Nichrome :

سبيكة تتكون من نحو ٨٪ من النيكل، ونحو ٢٠٪ من الكروم، يتميز بدرجة انصهارها العالية، وبأنها لا تتأكسد في الهواء، ولذلك تستعمل في صنع أسلاك التسخين في الأفران الكهربائية نظرا لمقاومتها العالية للتيار الكهربائي وعدم انصهارها في درجات حرارة أقل من ١٣٠٠°سليزيوس.

### سبائك الرصاص

يكون الرصاص سبائك مع عدة فلزات سبق ذكر بعضها، ولكنه يعد المكون الأساسي في السبائك التالية :

#### ١- فلز الطباعة Type Metal :

سبيكة تتكون من نحو ٨٥٪ رصاص وتحتوي على نسبة من الأنتيمون تتراوح بين ١٣ - ٣٠٪ تبعاً لنوع السبيكة المطلوبة، وقد تحتوي بعض أنواع هذه السبائك على بعض القصدير وبعض البزموت، وقد تصل نسبتها معاً في بعض أنواعها إلى نحو ٢٠٪، وتستخدم هذه السبيكة في صنع حروف الطباعة.

#### ٢- فلز اللينوتيب Linotype Metal :

سبيكة تتكون من ٨٧٪ رصاص، ونحو ١٣٪ من الأنتيمون، وقد تحتوي على نسبة من القصدير لا تزيد على ٢٪، وهي تنصهر عند ٢٤٦°سليزيوس وتصب منها حروف الطباعة.

#### ٣- معدن الخرطوش Lead Shots :

يصنع من الرصاص وتضاف إليه نسبة صغيرة من الزرنيخ لزيادة صلابته.

### سبائك القصدير

يدخل القصدير في تكوين بعض السبائك مع الفلزات الأخرى ومنها النحاس والأنتيمون :

### ١ - فلز برتانيا Britania Metal :

سبيكة تحتوى على ٩٠ - ٩٥٪ من القصدير، ونحو ٥ - ١٠٪ من الأنتيمون الذى يزيد من صلابتها، كما قد يضاف إليها بعض النحاس لإعطائها لونا مميزا تستعمل فى طلاء بعض الأدوات وإعطائها مظهرا فضيا لامعا.

### ٢ - فلز باييت Bsbbit Metal :

سبيكة تتكون من نحو ٨٥٪ من القصدير، ونحو ١٠٪ من الأنتيمون، ونحو ٥٪ من النحاس. تستعمل فى صنع محاور الآلات المتحركة وبعض التركيبات المماثلة وتعرف أحيانا باسم فلز المحاور Bearing metal.

### ٣ - فلز المرايا Speculum Metal :

سبيكة متغيرة تحتوى على نحو ٣٣٪ من القصدير، وعلى قدر مناسب من النحاس، وقد تزيد بها نسبة القصدير على ذلك، والسبيكة البيضاء تستعمل فى صنع المرايا، ويمكن تلميعها، وهى لا تتلون فى الهواء.

### سبائك البزموت

أهم سبائك البزموت هى :

### ١ - سبيكة روز Rose Alloy :

سبيكة تتكون من جزأين من البزموت، وجزء من القصدير وجزء واحد من الرصاص، وهى سهلة الانصهار وتستعمل كحمام فلزى للتسخين فى المعامل، وهى تنقلص أو تنكش بين درجتى حرارة ٩٥ - ١٣١ سيلزيوس.

### ٢ - سبيكة وود Wood Alloy :

سبيكة تتكون من أربعة أجزاء من البزموت، ومن جزأين من الرصاص، وجزء واحد من كل من القصدير والكاديوم. وهى سبيكة سهلة الانصهار تستعمل كحمام فلزى للتسخين كما تستعمل فى التشكيل بطريقة الصب. وتصنع منها أطراف رشاشات الماء الموجودة بالأسقف فى أنظمة الرش المضادة للحريق.

### سبائك الفضة

أهم سبائك الفضة هي السبيكة المعروفة باسم فضة سترلنج «Sterling Silver»، وهي تحتوى على نحو ٩٢,٥٪ فضة وتصنع منها بعض المشغولات وأقلام الحبر وغيرها.

### سبائك الذهب

أهم سبائك الذهب هي :

١ - الذهب الأبيض :

سبيكة من فلز الذهب تحتوى على ٢٥٪ من فلز النيكل وقدر قليل من الزنك، لها مظهر البلاتين.

الجنيه الذهب :

سبيكة تتكون من ٩١,٦٧٪ من الذهب، ونحو ٨,٣٣٪ من النحاس، أى تتكون من ٢٢ جزءا من الذهب وجزأين من النحاس، ولهذا يطلق عليها اسم «الذهب ٢٢ قيراط»، ويميل لونها إلى الاحمرار ويصنع منها الجنيه الذهب.

٣ - ذهب الياقوت :

سبيكة تتكون من ٧٨٪ من الذهب، و٢٢٪ من فلز الألومنيوم، ولها لون الياقوت، وهي عبارة عن مركب كيميائى بين الفلزين [Au Al<sub>2</sub>] ينصهر عند ١٠٦٠ سليزيوس.

### سبائك الحديد

الحديد النقى أكثر متانة من النحاس بمقدار مرتين، وتزيد متانته على متانة الألومنيوم بنحو أربع مرات. وتزداد متانة الحديد وصلابته عند إضافة بعض الفلزات الأخرى إليه فى أثناء تحويله إلى صلب.

وتتنوع أصناف الفلزات التى تضاف إلى الصلب، مثل المتجنيز والنيكل والكروم والسليكون والتنجستن والفناديوم والمولبدنوم، وهي تكون معه سبائك متعددة الخواص تصلح للاستخدام فى مختلف الأغراض، حيث إن هذه الإضافات تؤثر كثيرا على الخواص الطبيعية والميكانيكية للصلب الناتج.

وفيما يلي بعض هذه السبائك الهامة :

#### صلب المنجنيز :

يستخدم المنجنيز فى صنع نوع من الصلب غير القابل للمغنطة، وتؤدى إضافة المنجنيز إلى الصلب إلى تكوين صلب علىى المتانة، يتحمل البرى والاحتكاك، ولهذا تصنع منه أسنان بعض معدات الحفر، وبعض أجزاء الكراكات، وآلات الطحن، كما يستخدم فى صنع الخوذات التى يضعها الجنود فى ميدان القتال، وفى صنع بعض أجزاء الأسلحة الخفيفة.

وتتميز سبيكة الصلب المحتوية على نحو ١٢٪ منجنيز ونحو ١٪ من الكربون بأنها شديدة الصلابة والمتانة، وتصل قوة شددها إلى نحو ٧٠ طنا على البوصة المربعة، ويحدث لها مط قد يصل إلى نسبة ٦٠٪ من طولها الأصىلى قبل أن تنكسر.

#### صلب النيكل :

يكون فلز النيكل محاليل جامدة مع الحديد، ويتميز صلب النيكل بصلابته العالية، ولهذا فهو يستخدم فى صنع ألواح التدريع. والسبائك التى تحتوى على نسبة عالية من النيكل تصل إلى نحو ٢٥٪ من النيكل، لا تقبل المغنطة، كما أنها تتصف بخاصية أخرى هامة هى أنها لا يتغير طولها ولا تتمدد فى مدى معين من درجات الحرارة.

وتعرف سبيكة صلب النيكل باسم «إنفار» «Invar»، وهى تستخدم فى صنع بعض المقاييس العيارية، وفى صنع بندول الساعات التى يكون فيها ثبات الطول شيئاً مطلوباً ولا يتغير بتغير درجة الحرارة.

كذلك لا تتأثر مرونة سبيكة صلب النيكل بارتفاع درجة الحرارة، وهى تحتفظ بمرونتها فى حدود مقبولة تحت ظروف التشغيل المعتادة، ولذلك تصنع منها الأليات الدقيقة للساعات.

### صلب السليكون :

يتحد السليكون مع حديد الصلب مكونا مركبين هما  $[Fe Si]$ ، و  $[Fe_2 Si]$ ، ولكنه يشبه الكبريت فى أنه يكون محلولاً جامداً مع الحديد بنسب مختلفة قد تصل إلى نحو ١٨٪ من السليكون.

ويؤدى وجود السليكون فى حديد الصلب إلى تغيير بعض خواصه، فهو يحوله إلى معدن رمادى اللون يتميز ببعض الليونة، ويمكن قطعه بالآلات.

ويستخدم صلب السليكون المحتوى على نحو ٤٪ من السليكون فى صنع بعض المغنطيسات الكهربائية وبعض المحولات، وذلك بسبب سهولة مغنطته وسرعة فقد هذه المغنطة بعد زوال المؤثر وانقطاع التيار الكهربائى.

ويؤدى وجود كميات صغيرة من السليكون فى الصلب إلى زيادة صلابته ومتانته، وهو يستعمل مع المنجنيز فى صنع سبائك من الصلب تصلح للاستخدام فى صناعة يابات السيارات ويابات عربات السكة الحديد.

### صلب الكروم :

أهم سبائك صلب الكروم، هى تلك المعروفة باسم الصلب الذى لا يصدأ، وهى تحتوى على نحو ١٢٪ من فلز الكروم، ونحو ٠,٣٪ من الكربون. وتستخدم هذه السبيكة فى صنع المعدات التى تقاوم تأثير الأحماض وبعض أوعية التفاعل فى كثير من الصناعات، كما تصنع منها بعض أجزاء الآلات وبعض أوعية الطهى وأدوات المائدة وغيرها.

### صلب القطع :

سبائك من الصلب مع بعض الفلزات الأخرى مثل التنجستين والكروم وبعض الإضافات الأخرى. ومن أمثلة هذه السبائك : السبيكة التى تحتوى على نحو ١٢ - ٢٢٪ تنجستين، ونحو ٢ - ٦٪ كروم، ونحو ٠,٣ - ٠,٥٪ فناديوم، ونحو ٠,٥ - ٠,٦٪ من الكربون، وهى تتميز باحتفاظها بمتانتها عند تسخينها إلى درجة الاحمرار، أى إلى نحو ٧٠٠° سليزيوس، ولهذا تصنع منها أدوات القطع



التي تدور بسرعة عالية، وترتفع درجة حرارتها كثيرا عند تشغيلها، ولهذا يعرف باسم صلب القطع أو «High Speed Steel».

وتزيد صلابة الأدوات المصنوعة من هذه السبيكة كثيرا على صلابة الأدوات المماثلة المصنوعة من صلب الكربون، ويمكن استخدامها عددا من المرات يزيد بنحو ١٠٠ ضعف عن مثيلاتها المصنوعة من صلب الكربون، دون أن تفقد صلابة حدما القاطع.

#### صلب الكروم والكوبالت :

سبيكة من الصلب المحتوى على نحو ١٣,٣٪ من الكروم، ونحو ٣,٧٪ من الكوبالت، ونحو ٠,٧٪ من المولبدنوم، كما تحتوى على نحو ٠,٤٪ سليكون، ونحو ٠,٣٪ منجنيز، ونحو ١,٥٪ كربون.

وهذه السبيكة عالية الصلابة وشديدة المتانة، وتصنع منها بعض آلات القطع التي تتحمل درجات الحرارة العالية.



رقم الإيداع	٩٧ / ٥٣٦٦
I. S. B. N الترقيم الدولي.	977 - 10 - 0995 - 8





الصناعات الكيميائية ركيزة هامة من ركائز الاقتصاد القومي في كثير من الدول، وقد صدرت هذه السلسلة على أمل أن تسد حاجة القارئ إلى مزيد من دراسة ومعرفة هذا النوع من الصناعات الأساسية.

ويتضمن الجزء الأول من هذه السلسلة بعض الصناعات غير العضوية الثقيلة مثل صناعة الأحماض والقواعد، وعلى سبيل المثال الأحماض المعدنية الثلاثة وحمض الفوسفوريك، وكذلك هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم والنشادر، مع نبذة عن أملاحها الهامة واستخداماتها.

كذلك يشتمل هذا الجزء على استعراض بعض طرق تركيز الخامات واستخلاص بعض الفلزات الهامة منها، مثل الحديد والنحاس والرصاص والالومنيوم، نبذة عن السبائك المستخدمة في كثير من المجالات والتي تصنع منها عشرات من المعدات والتجهيزات.

Bibliotheca Alexandrina



0421533

تمت الطبعة الأولى ١٤٢٠ هـ / ٢٠١٩ م

تطلب جميع منشوراتنا من وكيلنا الوحيد بدولة الكويت دار الكتاب الحديث